

Classificação Digital de Cicadidae com *Wavelets* e *Support Vector Machines*

João Paulo Lemos Escola, Rodrigo Capobianco Guido, Ivan Nunes da Silva, Alexandre Moraes Cardoso, Douglas Henrique Bottura Maccagnan, Artur Kenzo Dezotti, Igor de Moraes Sampaio e Lucas Exposto Soares

Resumo—A cigarra é uma das pragas-chave da lavoura cafeeira e, atualmente, a única forma de combate tem sido a aplicação de inseticidas. Entretanto, os sons emitidos pelo macho, a fim de atrair as fêmeas, são peculiares e podem ser empregados para detecção e classificação digital das espécies. O presente trabalho apresenta um algoritmo de processamento de sinais e reconhecimento de padrões para detectar e classificar as cigarras a fim de possibilitar-se uma ferramenta que auxilie o controle e o monitoramento das espécies, contribuindo com o estado-da-arte e cobrindo uma lacuna existente na área. Os resultados obtidos mostram uma acurácia superior a 90% e indicam fortemente a viabilidade do uso do presente protótipo.

Palavras-Chave—Cicadidae, *Wavelets*, *Support Vector Machine*

Abstract—The cicada is one of the key crop pests and the only way to combat application of insecticides. However, the sounds emitted by the male, in order to attract females, are peculiar and can be employed for digital detection and classification of species. This work presents an algorithm of signal processing and recognition of patterns to detect and classify cicadas in order to provide a tool that assists the control and the monitoring of species, contributing to the state of the art and covering a gap in the area. The results obtained shows an accuracy of more than 90% indicates the feasibility of using the present prototype.

Keywords—Cicadidae, *Wavelets*, *Support Vector Machine*

I. INTRODUÇÃO

Com o aumento da população humana, também é crescente a necessidade de produção de alimentos e outros produtos advindos de campos agrícolas. Para garantir essa produção, é realizado monocultivo por extensas áreas, o que pode intensificar o surgimento de pragas. Geralmente o controle de pragas na agricultura é feito com o uso de defensivos químicos, aplicados muitas vezes até em áreas sem a incidência da praga, o que onera o custo de produção e pode causar impactos ambientais e na saúde humana. O desenvolvimento de *hardwares* e *softwares* específicos para a detecção da praga no campo pode fornecer subsídios para o desenvolvimento de uma forma de produção de menor impacto. Nesse sentido, a captação, registro e análise de sinais acústicos emitidos por insetos pode ser uma alternativa para otimizar a produção de certos cultivos [1].

J.P.L.Escola (jpescola@ifsp.edu.br) é o autor de contato para este trabalho; J.P.L.Escola e I.N.da Silva pertencem ao Departamento de Engenharia Elétrica e de Computação - SEL, Escola de Engenharia de São Carlos - EESC, Universidade de São Paulo, São Carlos-SP, Brasil; R.C.Guido pertence ao Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, Unesp - Univ Estadual Paulista (São Paulo State University), Rua Cristóvão Colombo 2265, Jd Nazareth, 15054-000, São José do Rio Preto - SP, Brazil; J.P.L.Escola, A.M.Cardoso, A.K.Dezotti, I.M.Sampaio e L.E.Soares pertencem ao Instituto Federal de São Paulo, câmpus Barretos; D.H.B.Maccagnan pertence ao Universidade Estadual de Goiás, câmpus Iporá.

Um bom exemplo de inseto capaz de emitir sinais acústicos é a cigarra (Hemiptera: Cicadidae). Em condições brasileiras, a cultura do cafeeiro pode ser atacada por diversos artrópodes e, dentre estes, *Quesada gigas* é considerada praga-chave em todo o estado de Minas Gerais e na região nordeste do estado de São Paulo [2]. Considerando que há relatos de ocorrência de cigarras em cafezais paulistas desde o período de 1900-1904 [3], este fato vem interferindo na forma de condução da lavoura e praticamente obrigou os cafeicultores a adotarem práticas de aprimoramento do sistema produtivo, como o aumento do espaçamento entre plantas que permitisse a mecanização da lavoura visando o uso de defensivos para manejo desta e outras pragas, além de doenças que afetam a produtividade da cultura.

As cigarras atacam as lavouras à procura de seiva, seu principal alimento. Os impactos sobre a planta se dão na fase ninfal da cigarra, quando esta suga seiva da raiz da planta hospedeira [4] (Figura 1). A espécie *Q. gigas*, de maior tamanho no país, pode chegar a 70 mm de comprimento (incluindo as asas) e 20 mm de largura, no caso dos machos, e as fêmeas podem alcançar 69 mm de comprimento total e 16,5 mm de largura (Figura 2), sendo talvez por isso que a sua associação com o cafeeiro cause tanto impacto.

Os machos costumam emitir som de outubro a dezembro. Na década de 1970, como não havia método eficiente de controle das cigarras, muitos cafeicultores não tinham outra opção senão erradicar as lavouras infestadas, muitos chegando a abandonar a cultura. Já há algum tempo o controle recomendado é por meio de defensivos químicos sistêmicos [2] e mais recentemente pelo uso de uma armadilha sonora que atrai a *Q. gigas* para um sistema fechado de pulverização [5].

A característica mais marcante das cigarras é a emissão de sinais acústicos. Apenas o macho tem órgão específico para a geração desses sinais. Pringle (1954) [6] é o primeiro a fornecer detalhadamente uma análise anatômica e fisiológica do processo de geração de sinais acústicos por cigarras. A onda sonora é gerada pela deformação do tymbal, que é uma placa com propriedade elástica localizada dorso-lateralmente em cada uma das laterais do abdome. No interior do abdome há espaços preenchidos por ar que atuam sobre a onda sonora como uma caixa de ressonância. A morfologia do tymbal, a frequência que este é deformado, aspectos morfológicos e



Fig. 1. Ninfa móvel de *Quesada gigas*

movimentos do abdome no momento da emissão do sinal propiciarão a características do sinal emitido, que é único para cada espécie.

Há exemplos de espécies de cigarras que emitem sinais com frequência pouco abaixo de 1 kHz até espécies com frequências ultrassônicas próximas a 25 kHz [7]. A alta intensidade com os quais os sinais são emitidos também é uma característica marcante das cigarras, sendo que em algumas espécies ela pode ser superior a 100 dB [8]. O fato do sinal emitido pela cigarra ser espécie-específico faz dele um importante carácter taxonômico para fins de identificação, levantamento de riqueza de espécie e estimativa de tamanho populacional [7].

Embora o sinal acústico possa ter outras funções, como de espantar predadores, sua principal função é de atrair a fêmea para o acasalamento [9]. Após a cópula a fêmea deposita seus ovos no interior de ramos da parte aérea da planta [10]. A ninfa recém eclodida vai ao solo, onde enterra-se em busca da raiz da planta da qual sugará seiva. É no subsolo, associada à raiz da planta, que a ninfa poderá permanecer por vários anos, até pouco tempo antes de completar seu desenvolvimento, que é quando ela vem a superfície e fixa-se a um substrato vertical onde passará pelo processo de metamorfose se tornando adulta, deixando fixada ao substrato sua última exúvia [11].

Com o intuito de sugerir um método novo e automatizado de



Fig. 2. Cigarras da espécie *Quesada gigas*, envolvidas nos experimentos

classificação de Cicadidae e de aprimorar o processo de monitoramento, reduzindo tempo e custos, este trabalho consiste de um algoritmo para identificação de espécies de Cicadidae por meio do som emitido pelo macho. Tal processo é realizado pela captura do sinal de áudio no formato *wave* (WAV) [12], processamento baseado na *Discrete Wavelet Transform* (DWT) [13] para obtenção das energias predominantes do sinal e, finalmente, classificação com base em uma *Support Vector Machine* (SVM) [14].

II. METODOLOGIA

Um total de 874 sinais acústicos de cigarras foram coletados em diversas localidades das cidades de Barretos-SP e Jaboticabal-SP, utilizando um dispositivo de captura *Marantz PMD670* com microfone *Le Son MP-68-PH* unidirecional, assim como um *smartphone* modelo *Asus Zenfone 2*, respeitando uma taxa de amostragem de 44100 amostras por segundo, com quantização de 16 bits. Em seguida, os respectivos arquivos WAV foram dispostos em duas pastas, isto é, Treinamento e Teste na proporção de 2,28% de arquivos para treinamento (5 arquivos), e em subdiretórios, de acordo com a espécie específica representada, ou seja, 770 sinais da classe *Quesada gigas*, 54 da classe *Fidicinoides sp.* e 19 da classe *Fidicinoides vinula*. Trinta e um sinais capturados e não oriundos das três classes anteriores, conforme atestado por um profissional da área de agronomia, foram rotulados como pertencentes ao grupo *Ruído*.

No algoritmo aqui descrito, desenvolvido em linguagem Java, os dados brutos de cada arquivo WAVE contendo alguns segundos de gravação foram extraídos, originando um vetor de valores do tipo *double precision*. Em seguida, foi obtida a DWT nível $j = \frac{\log(M)}{\log(2)}$ de cada sinal de tamanho M , sendo M a maior potência de 2 contida na gravação original, com base no algoritmo de Mallat e exatamente como descrito em [15]. Foram utilizados diversos tipos de filtros *wavelet*, com características de resposta em frequência e fase distintas [16][17], conforme detalhado adiante.

Na sequência, os coeficientes de cada sinal transformado pela DWT foram agrupados em 25 subconjuntos, de

TABELA I
AS 25 BANDAS CRÍTICAS DO SISTEMA AUDITIVO HUMANO

Bark (z)	% Hertz (Hz)
0	0 - 100
1	100 - 200
2	200 - 300
3	300 - 400
4	400 - 510
5	510 - 630
6	630 - 770
7	770 - 920
8	920 - 1080
9	1080 - 1270
10	1270 - 1480
11	1480 - 1720
12	1720 - 2000
13	2000 - 2320
14	2320 - 2700
15	2700 - 3150
16	3150 - 3700
17	3700 - 4400
18	4400 - 5300
19	5300 - 6400
20	6400 - 7700
21	7700 - 9500
22	9500 - 12000
23	12000 - 15500
24	15500 - 22050

acordo com uma distribuição de frequência que melhor os aproximasse da escala Bark do ouvido humano, conforme a Tabela I e [12]. Para cada um dos subconjuntos, obteve-se a respectiva energia normalizada [18], gerando, assim, um vetor de 25 características para cada arquivo no formato WAV.

Finalmente, os vetores de características foram utilizados para treinar de modo semi-supervisionado e testar quatro classificadores do tipo SVM de 25 entradas, 5 neurônios com núcleo Gaussiano na camada intermediária e um neurônio na camada de saída. Particularmente, uma SVM foi utilizada para cada classe de problema: *SVM Quesada gigas*, *SVM Fidicinoides sp.*, *SVM Fidicinoides vinula* e, ainda, *SVM Ruído*. Para cada uma das 4 redes, os exemplos de treinamento que deveriam e não deveriam ser identificados por ela foram rotulados com os *labels* 0 e 1, respectivamente.

III. RESULTADOS

Conforme mencionado anteriormente e detalhado na Tabela II, foram realizados testes com diversas DWTs. Eles correspondem aos melhores resultados obtidos num sistema de validação cruzada *holdout* [14], repetido aleatoriamente uma centena de vezes para redefinir quais seriam os vetores de características utilizados para treinamento e para testes, sempre na proporção de 2,28% de arquivos para treinamento.

Em princípio, as DWTs foram calculadas no nível j máximo, entretanto, utilizando-se o nível médio, ou seja, $j = \frac{\log(M)}{2 \log(2)}$, não houve diferença na acurácia. Tal fato deve-se à não exigência de uma resolução temporal mais fina.

Nota-se, complementarmente, que não houve considerável

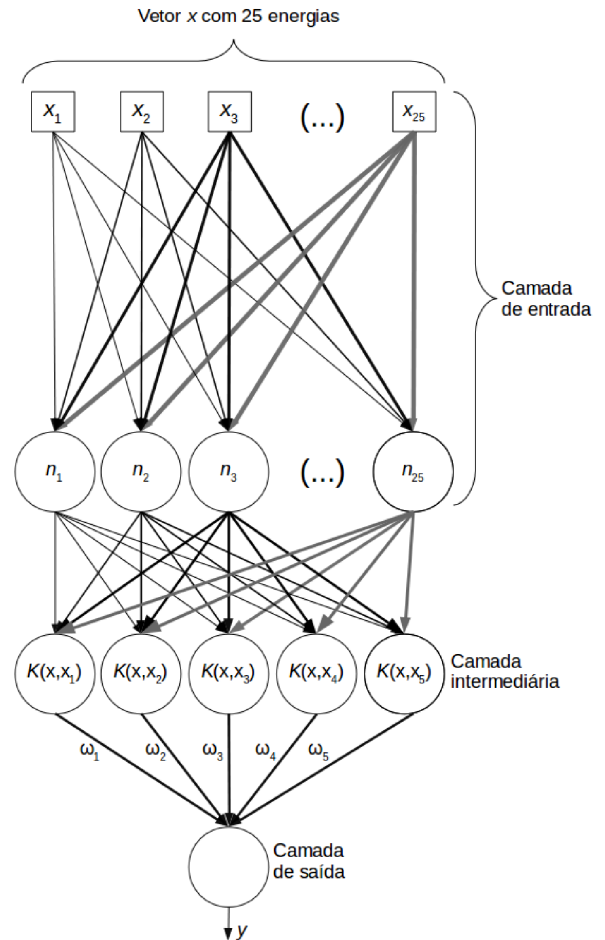


Fig. 3. Modelo da SVM utilizada nos experimentos

diferença nas acurácias dos testes em função da família e do suporte dos filtros *wavelet* utilizados. Certamente, isso se deve ao fato da considerável capacidade da SVM em generalizar e traçar planos de separações entre as classes de modo hábil. Assim, desvantagens relacionadas com as flutuações nas respostas em frequência dos filtros e/ou deslocamentos de fase foram contornados por tais classificadores.

IV. CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou um sistema para detecção e classificação de Cicadidae, com base nos ruídos acústicos que elas emitem, utilizando DWTs e SVMs. As aplicações do sistema de processamento de sinais e reconhecimento de padrões desenvolvido são relevantes para a agricultura e a economia nacionais, permitindo também aplicações em âmbito internacional.

Os resultados permitem concluir a viabilidade do protótipo desenvolvido para auxiliar nos processos de tomada de decisões relacionados ao manejo de insetos-praga. Como trabalhos futuros, pretende-se integrar o sistema em um dispositivo computacional de baixo custo, tal como o *Raspberry Pi*, para implantação em lavoura. Desse modo, o funcionamento em tempo-real, e não somente *off-line*,

TABELA II
ACURÁCIA DO EXPERIMENTO

Família	Suporte dos Filtros	% Acurácia
HAAR	2	85,84
DAUBECHIES	4	88,07
DAUBECHIES	6	88,53
DAUBECHIES	8	88,77
DAUBECHIES	10	89,59
DAUBECHIES	12	89,35
DAUBECHIES	14	89,82
DAUBECHIES	16	89,94
DAUBECHIES	18	89,94
DAUBECHIES	20	89,70
DAUBECHIES	22	89,94
DAUBECHIES	24	90,17
DAUBECHIES	26	90,05
DAUBECHIES	28	90,05
DAUBECHIES	30	90,05
DAUBECHIES	32	90,05
DAUBECHIES	34	90,40
DAUBECHIES	36	90,17
DAUBECHIES	38	90,05
DAUBECHIES	40	90,05
DAUBECHIES	42	90,29
DAUBECHIES	44	90,29
DAUBECHIES	46	90,05
DAUBECHIES	48	90,05
DAUBECHIES	50	90,29
DAUBECHIES	52	90,52
DAUBECHIES	54	90,17
DAUBECHIES	56	90,17
DAUBECHIES	58	90,17
DAUBECHIES	60	90,29
DAUBECHIES	62	90,29
DAUBECHIES	64	89,82
DAUBECHIES	66	90,17
DAUBECHIES	68	90,29
DAUBECHIES	70	90,29
DAUBECHIES	72	89,94
DAUBECHIES	74	89,94
DAUBECHIES	76	90,17
SYMMLET	8	89,23
SYMMLET	16	89,94
COIFLET	6	88,07
COIFLET	12	89,00
COIFLET	18	89,59
COIFLET	24	89,94
COIFLET	30	89,94
BEYLKIN	18	90,29
VAIDYANATHAN	24	90,29

permitirá incorporar recursos contemplando a captura e o tratamento de dados, comunicando-os em função das posições geográficas, temperatura, umidade e luminosidade.

AGRADECIMENTOS

Registre-se os agradecimentos ao CNPQ - “Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento”, pelo apoio financeiro concedido por meio dos processos 306811/2014-6 e 800694/2016-3. Este trabalho também é resultado parcial de projeto de iniciação científica PIBIFSP 2017, do Instituto Federal de São Paulo.

REFERÊNCIAS

[1] MANKIN, R. W. et al. Perspective and promise: a century of insect acoustic detection and monitoring. *American Entomologist*, v. 57, n. 1,

p. 30-44, 2011.

[2] MARTINELLI, N. M. et al. Cigarras (Hemiptera: Cicadidae: Tibicinidae) associadas ao cafeeiro: distribuição, hospedeiros e chave para as espécies. *Anais da Sociedade Entomológica do Brasil*, v. 26, n. 1, p. 133-143, 1997.

[3] D’UTRA, G. Cigarras nos cafezais. *Boletim da Agricultura*, v. 9, n. 5, 1908.

[4] DE SOUZA, J. C. Cigarras-do-cafeeiro em Minas Gerais: histórico, reconhecimento, biologia, prejuízos e controle. EPAMIG, 2007.

[5] MACCAGNAN, D.H.B. Cigarra (Hemiptera: Cicadidae): emergência, comportamento acústico e desenvolvimento de armadilha sonora. 2008. Tese de Doutorado. UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO.

[6] PRINGLE, J. W. S. A physiological analysis of cicada song. *Journal of Experimental Biology*, v. 31, n. 4, p. 525-560, 1954.

[7] SUEUR, J. Audiospectrographical analysis of cicada sound production: a catalogue (Hemiptera, Cicadidae). *Deutsche Entomologische Zeitschrift*, v. 48, n. 1, p. 33-51, 2001.

[8] VILLET, M. Sound pressure levels of some African cicadas (Homoptera: Cicadoidea). *Journal of the Entomological Society of Southern Africa*, v. 50, n. 2, p. 269-273, 1987.

[9] CLARIDGE, M. F. Acoustic signals in the Homoptera: behavior, taxonomy, and evolution. *Annual review of entomology*, v. 30, n. 1, p. 297-317, 1985.

[10] DECARO JUNIOR, S. T. et al. Oviposition of *Quesada gigas* (Hemiptera: Cicadidae) in coffee plants. *Revista Colombiana de Entomologia*, v. 38, n. 1, p. 1-5, 2012.

[11] TRIPLEHORN, C. A.; JOHNSON, N. F. *Estudo dos insetos*. São Paulo: Cengage Learning, 2011.

[12] BOSI, M; GOLDBERG, R. E. *Introduction to digital audio coding and standards*. Boston-USA: Kruwer Academic Press, 2003.

[13] GUIDO, R.C.; ADDISON, P.; WALKER, J. Introducing Wavelets and Time-frequency Analysis. *IEEE Engineering in Biology and Medicine Magazine*, v.28, n.5. (2009), 13.

[14] DUDA, R.O.; HART, P.E.; STORK, D.G. **Pattern Classification**. 2.ed. Wiley-Interscience, 2000.

[15] GUIDO, R.C. Practical and Useful Tips on Discrete Wavelet Transforms. *IEEE Signal Processing Magazine*, v.32, n. 3, (2015), 162-166.

[16] GUIDO, R.C. Effectively Interpreting Discrete Wavelet Transforms Signals. *IEEE Signal Processing Magazine*, (May-2017), 11-15.

[17] GUIDO, R.C. A note on a practical relationship between filters coefficients and the scaling and wavelet functions of the discrete wavelet transform. *Applied Mathematics Letters*. v.24, n.7, pp.1257-1259, 2011.

[18] GUIDO, R.C. A tutorial on signal energy and its applications. *Neurocomputing*, v. 179, (Feb-2016), 264-282.