

ANA CAROLINA DE SOUSA SILVA

**Caracterização de sinais elétricos cerebrais de bovinos usando técnicas
avançadas de processamento digital de sinais**

Tese apresentada à Faculdade de
Zootecnia e Engenharia de Alimentos da
Universidade de São Paulo, como parte
dos requisitos para a obtenção do Título
de Doutora em Zootecnia.

Área de Concentração: Qualidade e
Produtividade Animal

Orientador: Prof. Dr. Ernane José Xavier
Costa

Pirassununga
2009

Àqueles que amo, ofereço e dedico.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Ernane José Xavier Costa, pela contribuição à minha formação acadêmica, por sua amizade e pela boa convivência.

Ao técnico do LAFAC, Aldo Ivan Céspedes Arce, pelo auxílio na execução do Projeto e pela boa convivência.

Aos funcionários do Campus que auxiliaram durante a experimentação.

Aos funcionários e amigos da Biblioteca da FZEA – USP.

Aos colegas do ZAB, pelo “social”.

Aos colegas da pós – graduação. Em especial às amigas queridas Kãthery e Melissa.

Aos professores, alunos e ex-alunos do LAFAC, em especial, Prof. Sérgio Paulo, Prof. Andrés, Prof. Adriano, Carine, Kathleen, Lucas e Paula, que contribuíram não apenas para o trabalho, mas principalmente também pela convivência.

A todos que trabalham comigo e que tiveram seu trabalho bastante aumentado durante minha ausência para que este texto fosse concluído, são eles Fabrício, Fernando, Gabriel, Gustavo e Luiz Arthur.

A minha família, meu namorado e meus amigos, por “aturarem” meu mau-humor nos últimos meses e por me apoiarem sempre.

À Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, pela oportunidade de realização deste trabalho.

À Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo, pela concessão do auxílio financeiro.

À Prefeitura do Campus Administrativo de Pirassununga, pelo empréstimo dos animais.

A todos aqueles que, de uma forma ou de outra, contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

SILVA, A.C.S. **Caracterização de sinais elétricos cerebrais de bovinos usando técnicas avançadas de processamento digital de sinais**. 2009. 78 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2009.

O presente trabalho teve como objetivo caracterizar o sinal cerebral de bovinos quanto à sua complexidade e também à sua extensividade. Para tal foi necessário formar uma base de dados de sinais cerebrais, estes sinais foram adquiridos de novilhas da raça holandesa, na cidade de Pirassununga/SP (latitude 21°59'46" Sul e a uma longitude 47°25'33" Oeste, altitude de 627 metros) em duas situações: (1) câmara climática (gaiolas de contenção) em junho de 2005 e (2) piquete experimental (animais com liberdade de movimentos), entre outubro e dezembro de 2007. Foram utilizados eletrodos superficiais, fixos à cabeça dos animais por meio de cola sintética, a frequência de amostragem foi de 120 Hz. Os sinais foram avaliados visualmente e os trechos livres de artefatos foram selecionados para formação da base de dados. Simultaneamente foram considerados temperatura e umidade do ambiente (para o cálculo da entalpia), momento da intervenção da equipe junto aos animais e alguns comportamentos apresentados pelos animais durante a aquisição dos sinais. O algoritmo utilizado para cálculo da complexidade $C(n)$ mostrou-se eficiente na caracterização de seqüências conhecidas. O método desenvolvido para determinar o parâmetro q quando utilizado para caracterizar um mapa logístico, no limite de comportamento caótico, mostrou que q permanece constante mesmo quando se alteram as condições iniciais, ou seja, q é uma característica do sistema e o método é capaz de verificar este fato. Quando aplicados à base de dados, verificou-se que o parâmetro q variou mais em função de manipulação do animal do que em relação à entalpia, ou seja, o

estresse de manipulação se sobrepôs ao estresse térmico, isso pode se verificar mais claramente nos experimentos realizados em câmara climática com os animais mantidos em gaiolas. As variações na complexidade $C(n)$ (entre 0,2 e 1,0) permitem afirmar que os sinais de bovinos apresentam, além de componentes oscilatórias, componentes caóticas. A metodologia proposta indicou que é possível caracterizar sinais de bovinos quanto à sua extensividade, uma vez que q tende a apresentar valores menores logo após manipulação dos animais.

Palavras-chave: bovinos, complexidade, EEG, extensividade, zootecnia de precisão

ABSTRACT

SILVA, A.C.S. **Bovine brain electrical activity characterization using signal processing advanced techniques.** 2009. 78 f. Thesis (Doctorate) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2009.

This study aimed to characterize the bovine brain electrical activity as its complexity and also to its extensiveness. In order to make it possible a database of brain signals was formed. These signals were acquired from Holstein heifers in the city of Pirassununga / SP (latitude 21°59'46" south and a longitude 47°25'33" west, altitude of 627 meters) in two situations: (1) climatic chamber (cage containment) in June 2005 and (2) experimental pasture (animals with freedom of movement) between October and December 2007. We used surface electrodes, fixed to the head of the animals by synthetic glue, the sampling frequency was 120 Hz. Signals were evaluated visually and free of artifacts signals were selected to take part in the database. Both, were considered the temperature and humidity from environment (for the calculation of the enthalpy), It was also considered team intervention with the animals and some behaviors displayed by animals during signals acquisition. The algorithm used to calculate the complexity $C(n)$ was efficient in the characterization of known sequences. The method developed to determine the q parameter when used to describe a logistic map in the limit of chaotic behavior, showed that q remains constant even when changing the initial conditions, ie, q is a characteristic of the system and developed methodology is able to verify this fact. When applied to the database, it was found that the q parameter varied more according to manipulation of the animal than on the enthalpy, ie the stress of manipulation overrides to heat stress, this can be verified more clearly in the experiments performed in climatic chamber with the animals kept in cages.

Changes in complexity $C(n)$ (between 0.2 and 1.0) show that the animals exhibit signs of oscillatory components in addition to chaotic components. The proposed methodology showed that it is possible to identify cattle signs as to its extensiveness, as q tends to produce lower values after handling animals.

Key-words: accuracy, animal science cattle, complexity, EEG, extensiveness

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – A figura mostra a ERBM (posicionada no animal) e a estação ERBF (ligada ao microcomputador).	26
Figura 2 – Diagrama de blocos do módulo de acondicionamento de sinais e o amplificador de eletro encefalograma (EEG) (ARCE, 2008).	28
Figura 3 - Diagrama esquemático da estação rádio base fixa (ERBF).	30
Figura 4 - Gerador de ruído branco com controle de amplitude. (a) Esquema elétrico do circuito; (b) Imagem do circuito.	35
Figura 5 – Fixação dos eletrodos à cabeça dos animais e detalhe do cabresto.	38
Figura 6 – Gráfico do ruído branco gerado por um circuito elétrico.	39
Figura 7 – Gráfico da densidade espectral de potencias para o ruído branco gerado por um circuito elétrico.	40
Figura 8 – Gráfico do sinal de EEG de bovinos com complexidade $C(n)=0,9846$	40
Figura 9 – Gráfico da densidade espectral de potencias sinal de EEG de bovinos com complexidade $C(n)=0,9846$	41
Figura 10 – Gráfico de q em função de r para $x_0=0,9$ no mapa logístico.	41
Figura 11 – Gráfico de q em função de x_0 para $r=4$ no mapa logístico.	42
Figura 12 - Gráfico de entalpia em função do tempo para o animal que estava na câmara climática.	43
Figura 13 – Gráfico do parâmetro q em função do tempo para o animal que estava na câmara climática.	44
Figura 14 – Gráfico da complexidade $C(n)$ em função do tempo para o animal que estava na câmara climática.	44
Figura 15 - Gráfico de entalpia em função do tempo para o animal que estava no grupo controle.	45
Figura 16 – Gráfico do parâmetro q em função do tempo para o animal controle.	45
Figura 17 – Gráfico da complexidade $C(n)$ em função do tempo para o animal controle.	46

Figura 18 – Gráfico de entalpia em função do tempo para o dia 29 de outubro de 2007.....	47
Figura 19 – Gráfico do parâmetro q em função do tempo para o animal 690 no dia 29 de outubro de 2007.....	48
Figura 20 – Gráfico da complexidade $C(n)$ em função do tempo para o animal 690 no dia 29 de outubro de 2007.....	48
Figura 21 – Gráfico do parâmetro q em função do tempo para o animal 696 no dia 29 de outubro de 2007.....	49
Figura 22 - Gráfico da complexidade $C(n)$ em função do tempo para o animal 696 no dia 29 de outubro de 2007.....	50
Figura 23 – Gráfico de entalpia em função do tempo para o dia 31 de outubro de 2007.....	50
Figura 24 – Gráfico do parâmetro q em função do tempo para o animal 693 no dia 31 de outubro de 2007.....	51
Figura 25 - Gráfico da complexidade $C(n)$ em função do tempo para o animal 693 no dia 31 de outubro de 2007.....	52
Figura 26 – Gráfico do parâmetro q em função do tempo para o animal 694 no dia 31 de outubro de 2007.....	53
Figura 27 - Gráfico da complexidade $C(n)$ em função do tempo para o animal 694 no dia 31 de outubro de 2007.....	53
Figura 28 – Gráfico do parâmetro q em função do tempo para o animal 692 no dia 31 de outubro de 2007.....	54
Figura 29 - Gráfico da complexidade $C(n)$ em função do tempo para o animal 692 no dia 31 de outubro de 2007.....	55
Figura 30 – Gráfico do parâmetro q em função do tempo para o animal 699 no dia 31 de outubro de 2007.....	56
Figura 31 - Gráfico da complexidade $C(n)$ em função do tempo para o animal 699 no dia 31 de outubro de 2007.....	56
Figura 32 – Gráfico de entalpia em função do tempo para o dia 26 dezembro de 2007.....	57
Figura 33 – Gráfico do parâmetro q em função do tempo para o animal 588 no dia 26 de dezembro de 2007.....	58

Figura 34 - Gráfico da complexidade $C(n)$ em função do tempo para o animal 588 no dia 26 de dezembro de 2007.....	58
Figura 35 – Gráfico do parâmetro q em função do tempo para o animal 694 no dia 26 de dezembro de 2007.	59
Figura 36 - Gráfico da complexidade $C(n)$ em função do tempo para o animal 694 no dia 26 de dezembro de 2007.....	60
Figura 37 – Gráfico do parâmetro q em função do tempo para o animal 699 no dia 26 de dezembro de 2007.	61
Figura 38 - Gráfico da complexidade $C(n)$ em função do tempo para o animal 699 no dia 26 de dezembro de 2007.....	61
Figura 39 – Gráfico do parâmetro q em função do tempo para o animal 693 no dia 26 de dezembro de 2007.	62
Figura 40 - Gráfico da complexidade $C(n)$ em função do tempo para o animal 693 no dia 26 de dezembro de 2007.....	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Complexidade $C(n)$ obtida para o mapa logístico no limite de comportamento caótico ($r=4$) para diferentes valores da condição inicial (x_0)	42
Tabela 2 - Eventos observados para o animal 690 no dia Um.	47
Tabela 3 - Eventos observados para o animal 696 no dia Um.	49
Tabela 4 - Eventos observados para o animal 693 no dia Dois.....	51
Tabela 5 - Eventos observados para o animal 694 no dia Dois.....	52
Tabela 6 - Eventos observados para o animal 692 no dia Dois.....	54
Tabela 7 - Eventos observados para o animal 699 no dia Dois.....	55
Tabela 8 - Eventos observados para o animal 588 no dia Três.....	57
Tabela 9 - Eventos observados para o animal 694 no dia Três.....	59
Tabela 10 - Eventos observados para o animal 699 no dia Três.....	60
Tabela 11 - Eventos observados para o animal 693 no dia Três.....	62

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

EEG = eletroencefalograma.

DC = corrente contínua, do inglês, “direct current”.

A/D = analógico/digital.

CLZ = complexidade de Lempel-Ziv

LISTA DE SÍMBOLOS

Hz = Hertz, unidade de medida de frequência.

V = Volts, unidade de medida para potencial elétrico.

k = $\times 10^3$, “kilo”.

M = $\times 10^6$, “mega”.

μ = $\times 10^{-6}$, “micro”.

h= hora

min = minuto

s = segundo

q = parâmetro de extensividade

C(n) = complexidade normalizada

SUMÁRIO

RESUMO

ABSTRACT

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

LISTA DE TABELAS

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

LISTA DE SÍMBOLOS

RESUMO	5
ABSTRACT	7
LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	9
LISTA DE TABELAS	12
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	13
LISTA DE SÍMBOLOS	14
SUMÁRIO	15
1 Introdução.....	17
2 Revisão bibliográfica	19
2.1 O sinal de EEG de bovinos.....	20
2.2. Extração das características do sinal de EEG usando processamento digital de sinais	21
3 Objetivos	25
4 Materiais e Métodos.....	26
4.1 Arquitetura básica do equipamento.....	26
4.1.1 Nós sensores – Estação Radio Base Móveis (ERBM).....	27
4.1.2 Estações Rádio Base Fixas (ERBF)	30
4.2 Formação da base de dados	30
4.2.1 Aquisição de sinais em câmara climática	31
4.2.2 Aquisição de sinais em baias de contenção	32
4.3 Método de determinação do parâmetro de extensividade (q).....	33
4.4 Validação do método de determinação do parâmetro de extensividade q e da complexidade C(n).....	34
4.5 Cálculo do parâmetro de extensividade q e da complexidade C(n)	37

5 Resultados.....	38
5.1 Validação do método de determinação do parâmetro de extensividade q e da complexidade $C(n)$	39
5.2 Cálculo do parâmetro de extensividade q e da complexidade $C(n)$	43
5.2.1 Câmara climática.....	43
5.2.2 Piquete experimental	46
6 Discussão.....	64
7 Conclusões	69
Referências.....	70
APÊNDICE A – A função em MATLAB® responsável pelo calculo da complexidade $C(n)$ e do parâmetro de extensividade q	75

1 Introdução

A preocupação com a produção de alimentos está cada vez mais voltada para a quantidade e a qualidade do produto final, e as suas implicações no meio ambiente. Isso está acontecendo justamente no momento em que novas tecnologias de controle surgem, novas exigências de mercado aparecem, restrições de consumo e produção crescem diariamente, em paralelo com a mudança de conceito da população, que vem exigindo um produto final de melhor qualidade (Pandorfi et al, 2006).

O desempenho da produção animal depende do gerenciamento do rebanho e da propriedade de forma a minimizar perdas e maximizar ganhos. Cada segmento da produção deve ser controlado para que se atinja a otimização da produção como um todo.

Nas ultimas décadas novas tecnologias e ferramentas foram introduzidas na produção animal, como suporte ao gerenciamento, nutrição, saúde e fertilidade animal, controle do ambiente, informação, identificação e rastreabilidade (Nääs, 2002).

O termo zootecnia de precisão surgiu para definir a inserção dessas ferramentas na zootecnia tradicional. Parte do avanço da zootecnia de precisão vem da inserção das ferramentas de informática, eletrônica e uso de sensores no auxílio à tomada de decisão.

É neste contexto que este trabalho se insere, apresentando mais uma ferramenta para ampliar o conhecimento vigente à respeito de um animal de interesse econômico, uma vez que permitirá no futuro antecipar as respostas fisiológicas, que em geral aparecem já associadas às perdas na produção. Este fato justifica o estudo de técnicas que quantifiquem os fenômenos antes das respostas adaptativas dos animais. Sendo o EEG (eletroencefalograma) o método mais usado para acessar os processos cerebrais, a aplicação de técnicas de processamento digital de sinais aos dados coletados, permitirá relacionar o evento cognitivo a parâmetros de ambiência e, no futuro, poderá

oferecer aos pesquisadores, ferramentas capazes de auxiliá-los na tomada de decisão. No entanto, para que o EEG se transforme em uma ferramenta capaz de responder a questões desta natureza faz-se necessário que se conheça um pouco mais sobre os sinais cerebrais dos bovinos (animal escolhido por sua importância econômica no país), daí surge a necessidade da caracterização do sinal nos moldes existentes para humanos, utilizando para tal, ferramentas avançadas de processamento digital de sinais.

2 Revisão bibliográfica

O registro elétrico colhido na superfície do crânio tornou-se a principal fonte de informação não invasiva da atividade elétrica cerebral. O eletroencefalograma (EEG) é o gráfico resultante do registro da atividade elétrica cerebral obtida através de eletrodos colocados na superfície craniana.

Em humanos os sinais de EEG tornaram-se fontes importantes para diagnósticos de distúrbios mentais tais como, a epilepsia e o mal de Parkinson (KELLAWAY; PETERSÉN, 1976) e mais recentemente usado como interface cérebro computador (BCI - Brain Computer Interface) para indivíduos com sérios danos motores (COSTA, 2000). Em tais aplicações métodos de processamento digital de sinais acoplados a técnicas de classificação baseadas em redes neurais artificiais possibilitaram retirar mais informações dos sinais de EEG do que o obtido na sua representação na forma de uma série temporal.

Tais métodos de processamento compreendem a análise tempo-freqüência (QIAN; CHEN, 1996, QIAN, 2002, MARCHANT, 2003), Wavelets (DAUBECHIES, 1992), modelos não lineares e da teoria de sistemas complexos (COSTA; CABRAL, 2000). Entretanto a literatura não reporta o uso de técnicas avançadas de processamento digital de sinais para estudar, quantificar e qualificar as características de sinais cerebrais provenientes de bovinos.

A aquisição de sinais cerebrais em animais apresenta certas dificuldades técnicas com relação ao ambiente de estudo. Normalmente o animal é retirado do seu habitat e condicionado no local onde é feita a aquisição dos sinais e isto pode influenciar estudos de estresse animal. Como alternativa para contornar esta dificuldade surge a radiotelemetria que permite a medida de sinais biológicos de animais conscientes e que podem se mover livremente. A maior vantagem deste processo é que o animal não está

estressado, nem pelo uso de fios ligando-o ao equipamento, nem pela presença humana durante a coleta de dados (GACSALYI; ZABIELSKI; PIERZYNOWSKI, 2000).

2.1 O sinal de EEG de bovinos

West e colaboradores (1965) apresentaram um equipamento telemétrico para a aquisição de EEG em grandes animais e apresentaram os resultados dos testes de seu equipamento com medidas em bovinos, mostrando as características temporais do sinal sem, contudo, fazer menção às características em frequência.

Pouco depois, Merrick e colaboradores (1971) usando novilhas com idades entre 24 e 29 semanas, encontraram frequências nas faixas de 12–16 Hz e 24–27 Hz, dependendo da atividade do animal.

Já Suzuki e colaboradores (1990) trabalhando com bezerros de dez semanas de idade, afirmaram que livre de problemas neurológicos e acordados, os animais apresentaram ondas de baixa amplitude (20-30 μ V) e baixa atividade (2-7 Hz) com superimposição de ondas de baixa amplitude e elevada atividade (05-10 μ V, 15–30 Hz).

Takeuchi e colaboradores (1998) encontraram frequências na faixa de 18–30 Hz para bezerros entre sete e dez semanas de idade, com os eletrodos posicionados nas regiões frontal e occipital.

Silva (2005) apresentou uma técnica para adquirir sinais cerebrais de bovinos de forma não invasiva utilizando equipamento telemétrico. As técnicas de processamento utilizadas envolviam apenas a decomposição do sinal em frequências.

2.2. Extração das características do sinal de EEG usando processamento digital de sinais

Os sinais cerebrais caracterizam-se, do ponto de vista oscilatório, por apresentar baixas frequências, compreendidas aproximadamente entre 0,1 e 38 Hz, além disso, o sinal de EEG digitalizado é uma série temporal que apresenta características de não linearidade, de assimetria temporal, de não estacionariedade, de formas estocásticas e em alguns casos caóticas (COSTA, 2000). Com base nestas características, foram escolhidos alguns métodos para extrair informações do sinal de EEG proveniente dos bovinos.

2.2.1 Medidas de Complexidade

Lempel e Ziv (1976) definiram uma medida de complexidade $c(n)$ que mede o número de padrões distintos que devem ser copiados para produzir uma determinada seqüência de símbolos.

Uma maneira formal de se obter resultados analíticos para $c(n)$ é considerar o intervalo fechado $[0,1]$ e criar seqüências binárias representando os números irracionais contidos neste intervalo. Nota-se que a seqüência não é periódica espera-se, portanto que sejam seqüências aleatórias e com complexidade máxima.

Lempel e Ziv mostraram que para todo $x \in [0,1]$ a complexidade $c(n)$ das seqüências de zeros e uns que representam a decomposição binária dos irracionais neste intervalo, tende a um mesmo valor, dado por:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} c(n) = b(n) \equiv H \frac{n}{\log_2 n} \quad (1)$$

onde $b(n)$ oferece o comportamento assintótico de $c(n)$ para seqüências aleatórias. Esta característica de $b(n)$ deve-se ao fato de uma seqüência infinitamente grande e aleatória, como a gerada por um número irracional, tem complexidade máxima. A medida de complexidade pode ser normalizada usando-se a eq. (1), ou seja:

$$0 \leq \frac{c(n)}{b(n)} \leq 1 \quad (2)$$

Para uma seqüência de símbolos de tamanho n , $b(n)$ pode ser calculado como:

$$b(n) = \frac{Hn}{\log_k(n)} \quad (3)$$

sendo k o número de símbolos diferentes na seqüência. No caso binário $k=2$. H representa a entropia dada por:

$$H = -\frac{1}{\ln(k)} \sum_{i=1}^k p_i \log(p_i) \quad (4)$$

Em que p_i , a probabilidade de ocorrência de um estado i é obtida pela contagem de ocorrências de cada símbolo, dividida pelo total de símbolos na seqüência. Então, a medida de complexidade normalizada $C(n)$ é dada por:

$$C(n) = \frac{c(n)}{b(n)} \quad (5)$$

O sinal de EEG não apresenta apenas características no tempo e na freqüência, sabe-se que os sinais de EEG apresentam também comportamento de auto-similaridade e caótico que permitem fazer a análise de complexidade do sinal (KELLAWAY; PETÉRSSEN, 1976).

2.2.2 Entropia não extensiva

Entropia é uma grandeza termodinâmica que descreve o grau de desordem em um sistema. Também pode ser vista como o grau de incerteza relacionado à informação contida em um sistema, é normalmente obtida a partir da distribuição de probabilidades $p=\{p_i\}$, em que p_i é a probabilidade de

encontrar o sistema no i -ésimo microestado com $0 \leq p_i \leq 1$ e $\sum_{i=1}^M p_i = 1$. M é o numero total de microestados. No que se refere à informação a entropia do sistema é dada pela equação de Shannon (TONG et al., 2002):

$$SE = -\sum_{i=1}^M p_i \ln(p_i) \quad (6)$$

Neste caso a entropia é medida em *bits* para logaritmo de base 2, *nats* para logaritmo de base e ou *kits* para logaritmo de base 10.

A eq. (6) mostrou-se restrita ao domínio de validade da estatística de Boltzman-Gibbs (BG), que descreve um sistema em que as interações macroscópicas efetivas e a memória macroscópica se restringem a um intervalo pequeno. Generalizando, um sistema que obedece à estatística de BG é chamado extensivo. Considerando uma união entre os sistemas A e B ($A \cup B$), sendo A e B dois sistemas independentes, as interações entre A e B serão tão pequenas que podem ser desconsideradas e a densidade de probabilidade do sistema união ($A \cup B$) será $p^{A \cup B} = p^A p^B$ e a entropia de Shannon será extensiva (aditiva), ou seja:

$$SE(A \cup B) = SE(A) + SE(B) \quad (7)$$

quando há interações de intervalo longo, memória ou interações o sistema é considerado não extensivo.

Há um tipo de entropia generalizada, chamada entropia de Tsallis (1988), que se mostrou satisfatória para medir entropia não extensiva. A entropia de Tsallis (TE) é uma generalização da entropia de Shannon e é dada por:

$$TE = \frac{1 - \sum_{i=1}^M p_i^q}{q-1} \quad (8)$$

Quando $q \rightarrow 1$, $p_i^{q-1} = e^{(q-1)\ln(p_i)} \sim 1 + (q-1)\ln(p_i)$ e a eq. (8) se converte na eq. (6). Outra maneira de compreender este fato é verificar que a eq. (7) pode ser acrescida de um termo que lhe confere o grau de extensividade que depende do parâmetro q . Sendo TE não extensiva tem-se:

$$TE(A \cup B) = TE(A) + TE(B) + (1 - q)TE(A)TE(B) \quad (9)$$

considerando este formalismo pseudo aditivo da eq. (9) e considerando $TE \geq 0$, tem-se os seguintes casos quanto aos valores do parâmetro q :

- $q < 1$, a eq. (9) converte-se em:

$$TE(A \cup B) > TE(A) + TE(B) \quad (10)$$

A eq. (10) representa o caso superextensivo.

- $q=1$, a eq. (9) converte-se em:

$$TE(A \cup B) = TE(A) + TE(B) \quad (11)$$

A eq. (11) representa o caso extensivo.

- $q>1$, a eq. (9) converte-se em:

$$TE(A \cup B) < TE(A) + TE(B) \quad (12)$$

A eq. (12) representa o caso subextensivo.

Portanto, o parâmetro q mede o grau de extensividade de um sistema.

Considerando $0 \leq p \leq 1$ na eq. (8), $p_i^q \leq p_i$ para $q>1$ (subextensivo) e $p_i^q \geq p_i$ para $q<1$ (superextensivo), sendo assim, $q>1$ e $q<1$ vão corresponder respectivamente aos eventos raros e aos freqüentes.

Considerando que o EEG é gerado pelos potenciais sinápticos provenientes de diversos pontos do cérebro, há interações entre fontes geradoras de potenciais (TONG, 2002, BASAR; BULLOCK, 1989). Portanto o EEG apresenta uma soma complexa de interações que sugerem características não extensivas. De acordo com Tong e colaboradores (2002) o parâmetro q tem sido escolhido como $q>1$ baseado em trabalhos prévios, numa hipótese de subextensividade devido às características oscilatórias dos potenciais gerados.

3 Objetivos

Este trabalho teve por objetivo testar a seguinte hipótese:

“É possível caracterizar sinais cerebrais de bovinos quanto à sua extensividade e complexidade”.

Para que isto fosse feito, o seguinte conjunto de ações foi seguido:

- 1- Coleta de sinal de EEG em diferentes situações para formar uma base de dados,
- 2- Desenvolvimento um método para calcular a extensividade por meio de uma técnica inovadora, que considerasse uma relação entre a entropia de Tsallys e as medidas de complexidade de Lempel-Ziv.
- 3- Verificação da influência da extensividade e da complexidade nas seguintes situações:
 - a. Câmara climática com controle de temperatura
 - b. Durante e após a contenção em tronco.

4 Materiais e Métodos

Os experimentos foram realizados na Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo na cidade de Pirassununga/SP (latitude 21°59'46" Sul e longitude 47°25'33" Oeste, altitude de 627 metros).

4.1 Arquitetura básica do equipamento

O sistema utilizado (ARCE, 2008) consiste de dois módulos principais, o primeiro responsável pela amplificação e transmissão do sinal de EEG e o outro que recebe os dados e realiza a conexão com o computador. A figura 1 apresenta um esquema geral do funcionamento do equipamento.

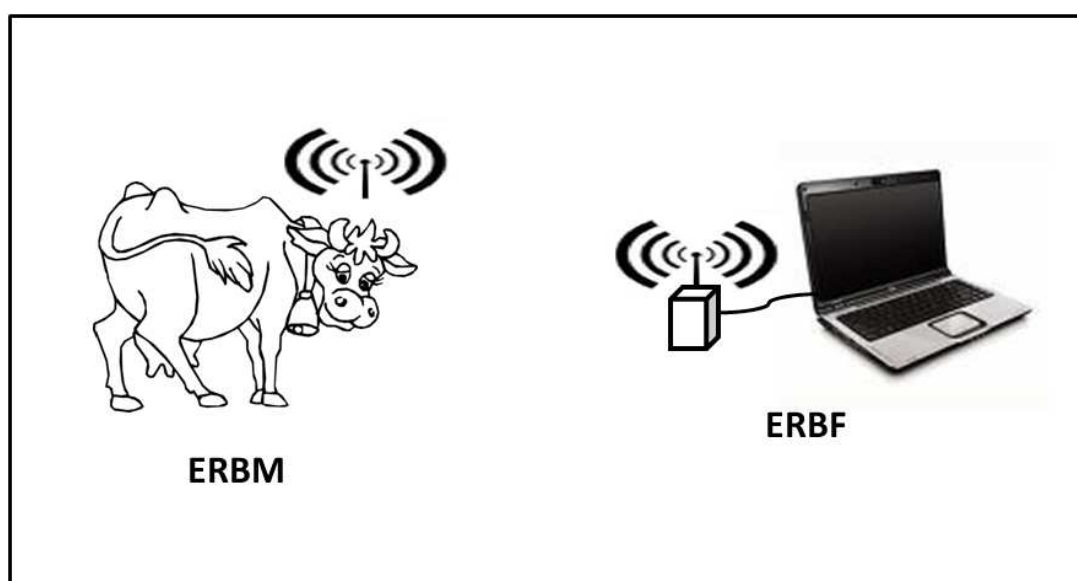


Figura 1 – A figura mostra a ERBM (posicionada no animal) e a estação ERBF (ligada ao microcomputador).

4.1.1 Nós sensores – Estação Radio Base Móveis (ERBM)

Estes módulos que serão embarcados nos animais consistem de três partes:

- 1) Amplificação e condicionamento do sinal,
- 2) Conversão digital e sistema de controle de comunicação digital microprocessada e,
- 3) Transmissão dos dados digitais.

4.1.1.1 Amplificação e condicionamento do Sinal

A arquitetura básica do módulo de amplificação e condicionamento do sinal pode ser vista na figura 2. O diagrama da figura 2 descreve os blocos funcionais do amplificador. O circuito foi concebido usando o AD620 que é um amplificador de instrumentação e o TL064AC que contém quatro entradas para amplificadores operacionais com tecnologia JFET. O circuito realiza uma pré-amplificação com o AD620 (1000 vezes) então o sinal amplificado passa por um filtro ativo passa-alta de ordem três (em 0.05Hz) e um passa-baixa (em 1.5kHz) implementados em duas das quatro portas do TL064AC. A terceira porta do TL064AC é usada para amplificar o sinal em 100 vezes.

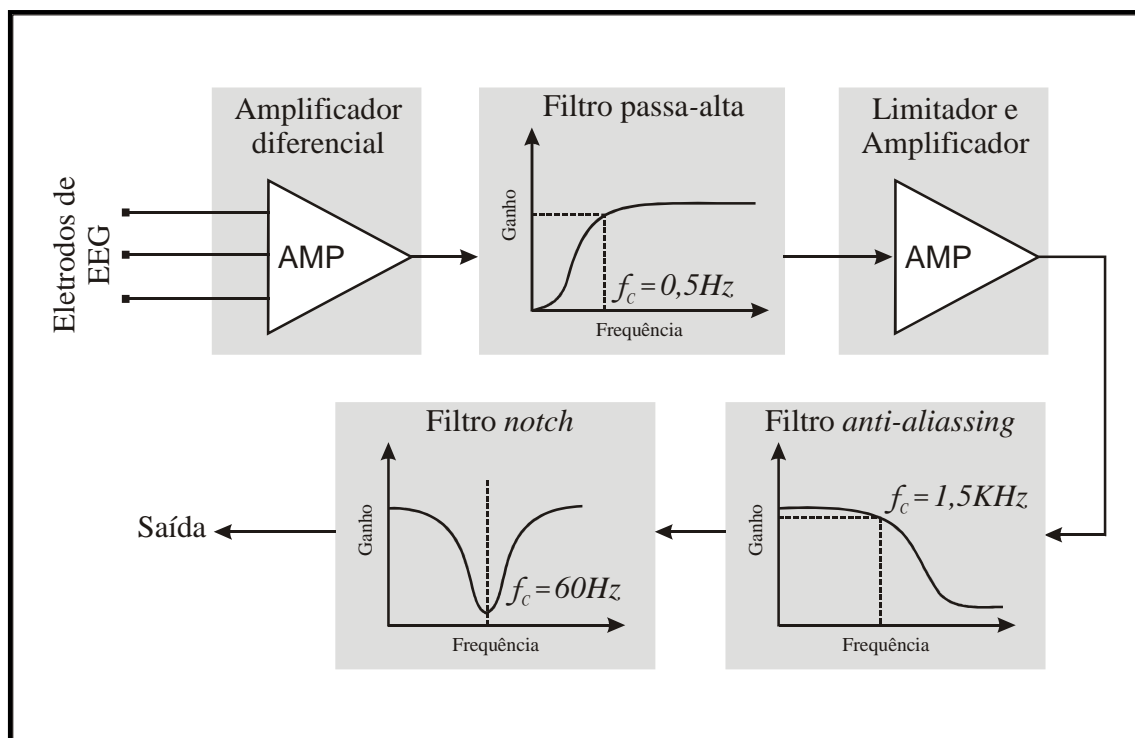


Figura 2 – Diagrama de blocos do módulo de acondicionamento de sinais e o amplificador de eletroencefalograma (EEG) (ARCE, 2008).

4.1.1.2 Conversão Digital e amostragem

Após o estágio de amplificação e condicionamento do sinal a próxima etapa do circuito realiza a conversão analógica-digital (A/D) do sinal. Esta conversão é realizada através de um conversor A/D de 10 bits pelo método das aproximações sucessivas. Este conversor A/D é configurado dentro de um microcontrolador que através de um programa controla a frequência de amostragem do sinal. O microcontrolador usado foi o 12F675 da Microchip®, que apresenta em sua configuração quatro portas de entrada e saída, quinze conjuntos de instruções básicas e pode operar a uma frequência de 4 MHz realizando uma instrução a cada 4 ciclos de “clock”. Foi desenvolvido um software de controle para o microcontrolador 12F675. O

software de aquisição de dados foi implementado em linguagem de máquina e gravado no 12F675 usando o programa de desenvolvimento da Microship®. O programa desenvolvido controla a amostragem do sinal, feita a 100 Hz, e o seu envio através de uma interface RS232. Além disso, o software desenvolvido para o microcontrolador gerencia toda a tarefa de envio e recebimento de dados no módulo 1 (um). Os dados coletados são transmitidos telemetricamente, para uma estação base conforme descrito no item 4.1.2.

4.1.1.3 Transmissão dos dados

O sistema telemétrico desenvolvido apresenta baixo consumo e alta capacidade de recepção/transmissão, utilizando para este fim o transceptor BIM2-433-160 da Radiometrix® (BIM2-433-166..., 2003), que é ideal para transmissões bidirecionais a até 200 m. O dispositivo BIM2 apresenta um consumo menor que 20 mA a 3 V, é bastante compacto e transmite dados a 64 kbps.

O módulo um através do dispositivo BIM2 pode receber e enviar dados permitindo desta forma uma operação em rede com outros transmissores acoplados em outros animais durante a realização do experimento, bastando para tal um protocolo de comunicação entre os módulos, o protocolo utilizado foi o FBSN (Silva et al, 2005).

4.1.2 Estações Rádio Base Fixas (ERBF)

Este módulo é responsável pelo controle do tráfego de informações entre os nós da rede e pela recepção dos dados. O sistema consta de um microprocessador interligado com um transceptor. Neste dispositivo foi utilizado um transceptor comercial BIM2-160-433 da Radiometrix ® (BIM2-433-166..., 2003) operando a 433 MHz. A figura 3 mostra o diagrama de blocos da ERBF desenvolvida.

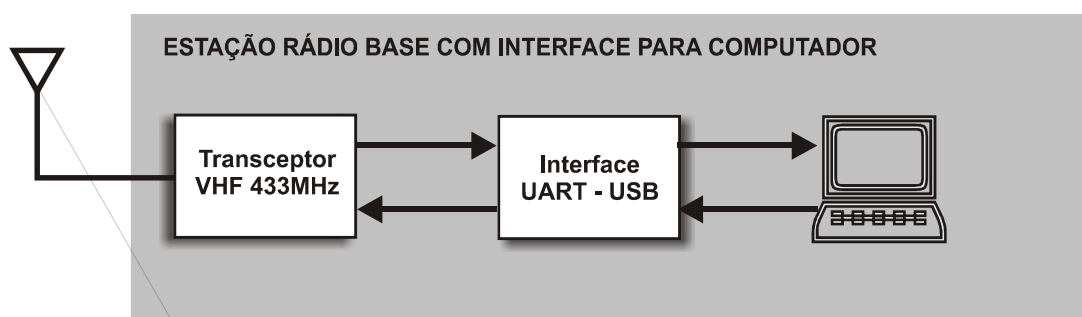


Figura 3 - Diagrama esquemático da estação rádio base fixa (ERBF).

4.2 Formação da base de dados

Os experimentos realizados tinham por objetivo formar uma base de dados de sinais elétricos cerebrais para bovinos e foram divididos em duas etapas principais: animais confinados em uma câmara climática e animais com liberdade de movimentação em um piquete experimental.

Para evitar o contato direto dos experimentadores com os animais a aquisição de EEG foi feita telemetricamente por meio de uma rede de equipamentos de EEG proposta por Silva et al. (2005), que permite adquirir

sinal de grupos de animais sem perdas de dados. O sinal foi amostrado a uma taxa de 120 Hz.

Foram utilizados eletrodos superficiais fixados à cabeça dos animais utilizando cola sintética da marca Superbonder® e cabrestos protetores dos eletrodos, desenvolvidos especialmente para este fim. Os eletrodos foram posicionados de acordo com estudos prévios realizados por Silva (2005).

Durante a experimentação foram coletadas a temperatura e a umidade relativa do ar, que foram utilizadas para determinar a entalpia do local, conforme proposto por Albright (1990). A entalpia é uma variável, considerada como índice de conforto térmico, pois indica as condições do ambiente relacionadas ao estresse térmico sofrido pelos animais (MOURA et al., 1997, NAÃS; MOURA; LAGANÁ, 1995, SILVA et al., 2003, SILVA et al., 2006).

A eq. (13) mostra a expressão que define a entalpia segundo Albright (1990):

$$h = 1,0006.T + \frac{U_R}{p_B} \cdot 10^{\left(\frac{7,5.T}{237,3+T}\right)} \cdot (71,28 + 0,0052.T) \quad (13)$$

Após a aquisição e digitalização, o sinal de EEG passou pela etapa de condicionamento, ou seja, avaliação das características temporais do sinal e remoção de artefatos indesejáveis presentes no sinal. Após condicionamento, foram calculados o parâmetro q e a complexidade $C(n)$ para cada um dos trechos.

4.2.1 Aquisição de sinais em câmara climática

Para controlar a temperatura e monitorar com maior precisão a variação de umidade e luz, um animal foi colocado na câmara climática. O animal controle foi posicionado do lado externo da câmara climática e ficou exposto à temperatura e umidade do ambiente. Ambos foram mantidos em gaiolas de contenção. A temperatura e a umidade foram monitoradas na

câmara climática e na parte externa. O animal mantido na câmara climática teve também sua temperatura retal monitorada.

Devido à pouca liberdade de movimento dentro da gaiola foi necessário pendurar o equipamento no pescoço do animal. Os animais receberam água e comida a vontade.

4.2.2 Aquisição de sinais em baias de contenção

A contenção dos animais para preparo foi feita no tronco, onde os animais permaneciam entre 10 e 15 min. Após a fixação dos eletrodos os mesmos foram soltos em baias experimentais nas proximidades do tronco. Na baia os animais podiam mover-se livremente, tendo acesso a água e comida à vontade. Esta etapa foi subdividida em etapas menores, realizadas em dias diferentes. São elas:

- (a) **Dia um** (29 de outubro de 2007): Aquisição de sinais realizada com dois animais no decorrer de um dia de temperaturas elevadas;
- (b) **Dia dois** (31 de outubro de 2007): Aquisição de sinais realizada com quatro animais. Todos os animais foram submetidos a um período de repouso (15 min) antes da primeira aquisição;
- (c) **Dia três** (26 de dezembro de 2007): Aquisição de sinais realizada com quatro animais. A aquisição foi iniciada imediatamente após a manipulação dos animais.

4.3 Método de determinação do parâmetro de extensividade (q)

Um sistema não extensivo é aquele que apresenta interações de intervalo longo. Para cada valor de q , um valor da entropia (E) é estabelecido. Muitos trabalhos usam a entropia para caracterizar dados fisiológicos, como o EEG (CAPURRO et al., 1998, KANNATHAL et al, 2005, MAZZA et al., 2002), mas normalmente assume-se um valor para o parâmetro q , sem calculá-lo diretamente. Mas a escolha do parâmetro q é significativa e deve ser melhor estudada.

Outra metodologia utilizada com sucesso para analisar dados não lineares e não determinísticos é a medida de complexidade de Lempel-Ziv (CLZ). A CLZ usa uma técnica para mapear uma serie temporal em uma seqüência que preserve sua dinâmica. A principal vantagem é mapear amostras do espaço real em uma seqüência simbólica finita no espaço de símbolos. Este é um problema não trivial (NAGARAJAN, 2002), mas há muitos métodos eficientes que podem ser usados para analisar dados fisiológicos (ZHANG; ROY, 1999, ABÁSALO et al, 2006, NAGARAJAN; JANUSZ; WAJNRYB, 2008, SABETI; KATEBI, 2009) e sua eficiência foi avaliada em estudos com descargas neurais (SZCZEPANSKI et al, 2003) dados de EEG relacionados ao evento (PEI et al, 2006) e magnetoencefalografia (GÓMEZ et al, 2006).

Não há uma relação evidente entre a entropia de Tsallis (TE) e a CLZ discutida até então pela literatura. No entanto, neste trabalho será mostrado que é possível realizar cálculos da medida de complexidade usando conceitos de entropia na CLZ, sendo, portanto possível determinar o parâmetro q para o processo que gerou a seqüência de dados. Este é, portanto, um método para determinar diretamente o parâmetro q de uma série temporal usando uma nova metodologia que interliga a CLZ com a TE.

A CLZ mede o numero de padrões distintos em um sinal, ou seja, até onde vai a desordem no sinal, outra forma de se avaliar o grau de desordem em um sistema é determinar a entropia E .

Para determinar o parâmetro q vamos considerar a eq. (1), ou seja, $\lim_{n \rightarrow \infty} c(n) = b(n)$ e como pela eq. (5) $CLZ = \frac{c(n)}{b(n)}$, temos que para um sinal randômico e para n muito grande $\lim_{n \rightarrow \infty} CLZ = \frac{c(n)}{b(n)} = 1$. Substitui-se então a eq. (4) na eq. (5) e tem-se:

$$\frac{c(n) \cdot (q-1) \cdot \log_2^n}{1 - \sum_{i=1}^N p_i^q} = 1 \quad (14)$$

Logo, existe um valor de q que satisfaz a igualdade na eq. (14).

4.4 Validação do método de determinação do parâmetro de extensividade q e da complexidade $C(n)$

Esta etapa destinou-se tanto à validação da metodologia como também do algoritmo utilizado para calcular numericamente os valores de q e $C(n)$ (APÊNDICE A).

Em primeiro lugar foi avaliada a complexidade $C(n)$, para ela há uma metodologia já bastante difundida pelo trabalho de Lempel e Ziv (1976). Foram consideradas seqüências conhecidas, como o ruído branco binário gerado por um circuito elétrico. Dada a sua característica de aleatoriedade, espera-se que um ruído branco binário tenha complexidade normalizada $C(n)=1$. Foram utilizados dois trechos de ruído branco gerados pelo circuito elétrico da figura 3. O circuito aproveita o ruído térmico gerado na junção de um diodo comum de silício (D1). O sinal sem amplificação é obtido na saída e é acoplado ao amplificador do equipamento de EEG, a seguir o sinal é convertido em uma seqüência binária. O circuito foi alimentado por uma bateria de 9V e é provido de um potenciômetro (P1) para ajuste da amplitude do sinal de saída.

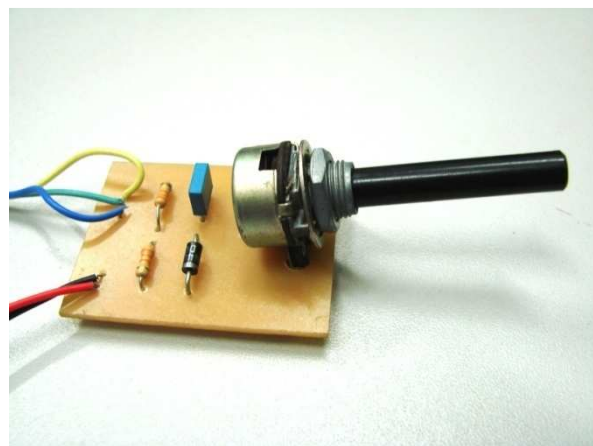
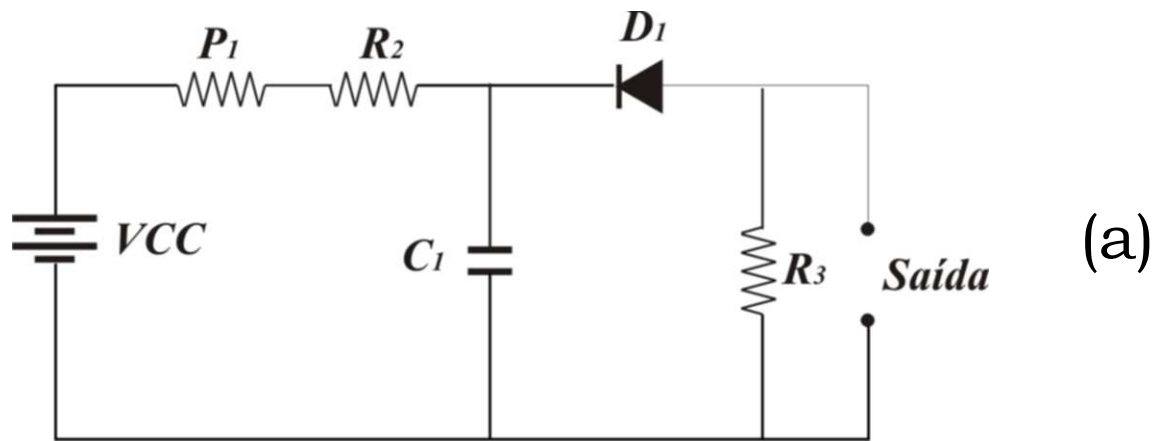


Figura 4 - Gerador de ruído branco com controle de amplitude. (a) Esquema elétrico do circuito; (b) Imagem do circuito.

Outro ponto a ser avaliado em relação à complexidade $C(n)$, foi justamente o ponto $C(n)=1$. Para verificar se todo sinal com $C(n)=1$ era um trecho de ruído foram calculadas as densidades espectrais de potencia tanto para o ruído como para um trecho de sinal com complexidade muito próxima de 1 (um).

Para que se pudesse associar a complexidade $C(n)$ com características dos sinais, ela foi calculada para seqüências específicas:

$$S1 = [0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1]$$

$$S2 = \sin(2\pi \cdot 30 \cdot t)$$

$$S3 = [0 1 0 1 0 1 1 1 0 1 0 1 0 1 0 0 0 1 0 1 0 1 0 1 1 1 1 1 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 1 1 0 1]$$

S4=[0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 1]

A dificuldade de validação da metodologia para calcular o q está no fato de não haver outra metodologia de cálculo direto do q em séries temporais em vigor para permitir comparações.

A opção encontrada foi utilizar uma função com comportamento conhecido. O mapa logístico, definido pela eq. (15) (FIEDLER-FERRARA; PRADO, 1994) é um sistema cuja dinâmica é governada pelo parâmetro r .

$$x_{n+1} = rx_n(1 - x_n) \quad (15)$$

Primeiramente, com x_0 fixo ($x_0 = 0,9$) na eq. (15) foram feitas variações em r para verificar o que ocorria com o parâmetro q ao mudarmos o sistema gerador. Em seguida, com $r=4$ (limite caótico do mapa logístico) foram feitas variações nas condições iniciais (x_0), para verificar o comportamento do parâmetro q nestas condições.

Ainda neste limite de comportamento caótico, foram avaliadas as complexidades em todas as condições iniciais para avaliar o parâmetro de extensividade q .

Sendo o ruído branco binário um sinal de natureza conhecida, ou seja uma seqüência de complexidade máxima de tamanho N , formada por dois símbolos (0 e 1), com igual probabilidade p de ocorrência igual a $\frac{1}{2}$. Sua entropia (TE) terá o seguinte comportamento:

TE máxima se $q < 0$

TE mínima se $q > 0$

TE = $N-1$ se $q = 0$.

Com base nesta informação, foram calculados os valores de q para dois trechos de ruído branco.

4.5 Cálculo do parâmetro de extensividade q e da complexidade $C(n)$

Após a remoção de artefatos de cada um dos trechos de sinal adquiridos dos animais, estes ficaram subdivididos em trechos menores. O parâmetro de extensividade e a Complexidade foram determinados para cada um desses trechos e a média, mais o desvio padrão dos valores de q e $C(n)$ obtidos foram avaliados graficamente.

Para o cálculo foi definida uma função em MATLAB® (APENDICE A), esta função calcula numericamente a eq. (14) para determinar o valor de q e a eq. (5) para determinar $C(n)$.

Os cálculos foram feitos para toda a base de dados, incluindo câmara climática e piquete experimental.

5 Resultados

A figura 5 mostra os eletrodos fixos à cabeça dos animais e o cabresto de proteção.



Figura 5 – Fixação dos eletrodos à cabeça dos animais e detalhe do cabresto.

5.1 Validação do método de determinação do parâmetro de extensividade q e da complexidade $C(n)$

Os valores obtidos para a complexidade $C(n)$ para os trechos de ruído branco foram 0,9767 e 0,9917.

A figura 6 mostra o gráfico do ruído branco binário em função do tempo e a figura 7 mostra a densidade espectral de potências para esse sinal.

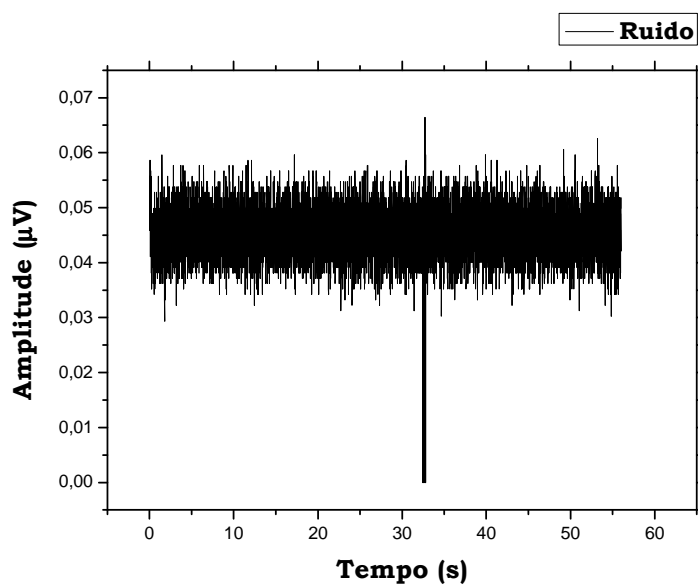


Figura 6 – Gráfico do ruído branco gerado por um circuito elétrico.

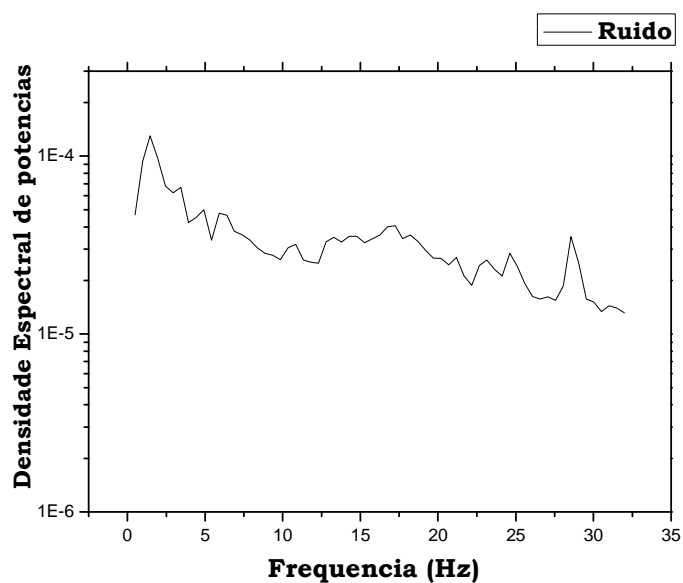


Figura 7 – Gráfico da densidade espectral de potências para o ruído branco gerado por um circuito elétrico.

A figura 8 mostra o um sinal de EEG com complexidade $C(n)$ próxima de 1 (0,9846) em função do tempo e a figura 9 mostra a densidade espectral de potências para esse sinal de EEG.

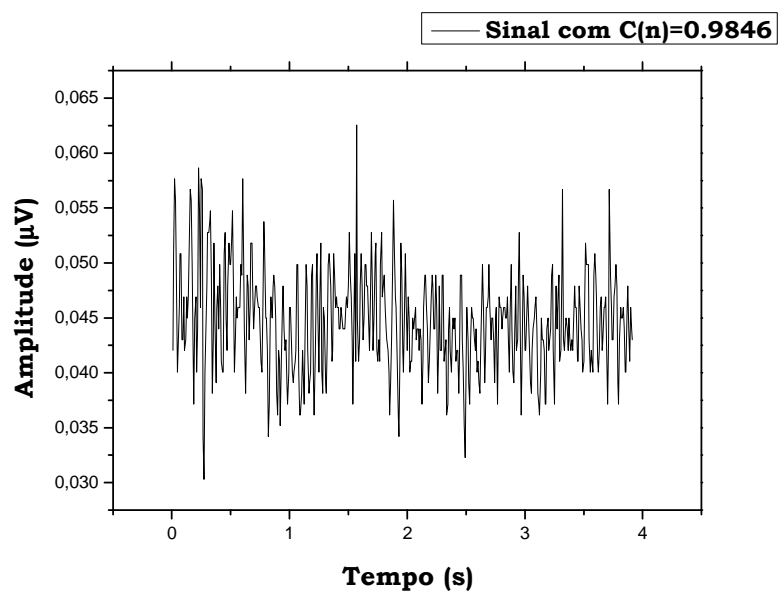


Figura 8 – Gráfico do sinal de EEG de bovinos com complexidade $C(n)=0,9846$.

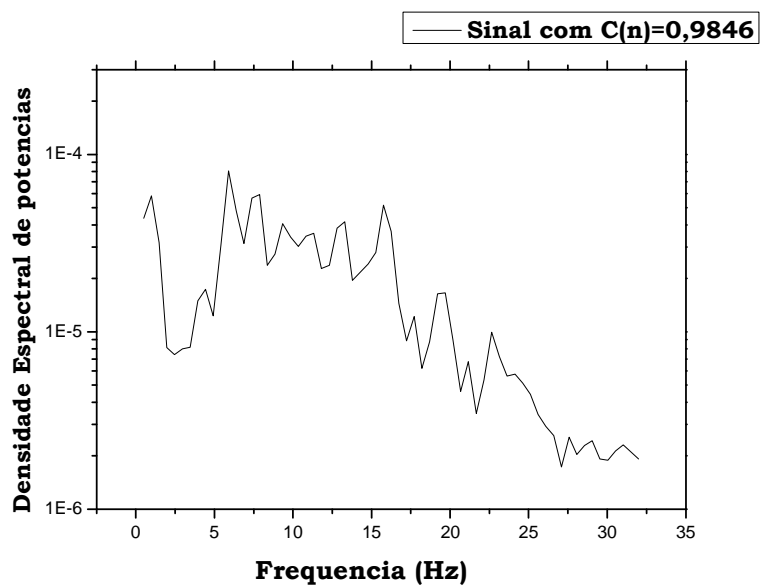


Figura 9 – Gráfico da densidade espectral de potências sinal de EEG de bovinos com complexidade $C(n)=0,9846$.

A figura 10 mostra o gráfico de q em função de r para $x_0=0,9$ no mapa logístico.

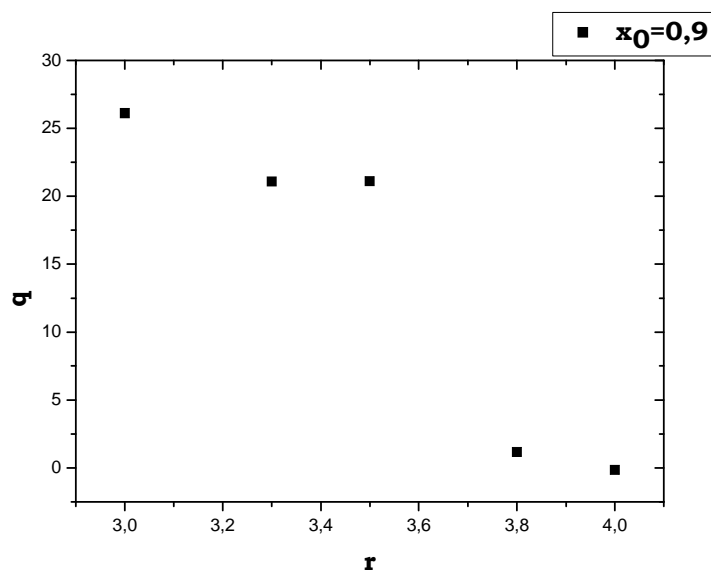


Figura 10 – Gráfico de q em função de r para $x_0=0,9$ no mapa logístico.

A figura 11 mostra o gráfico de q em função de x_0 para $r=4$ no mapa logístico. O valor médio e o desvio padrão de q são $-(0,169 \pm 0,035)$.

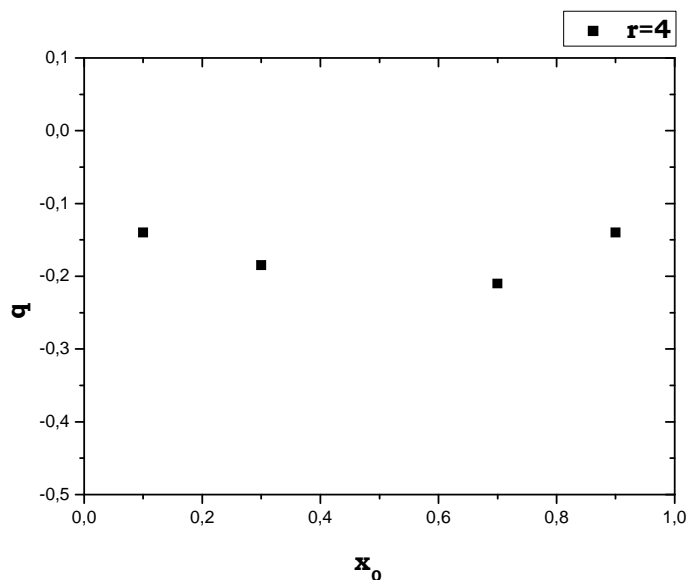


Figura 11 – Gráfico de q em função de x_0 para $r=4$ no mapa logístico.

A tabela 1 mostra a complexidade $C(n)$ obtida para o mapa logístico no limite de comportamento caótico ($r=4$) para diferentes valores da condição inicial (x_0).

Tabela 1 – Complexidade $C(n)$ obtida para o mapa logístico no limite de comportamento caótico ($r=4$) para diferentes valores da condição inicial (x_0)

x_0	$C(n)$
0,1	1,0555
0,3	1,0754
0,7	1,0856
0,9	1,0556

Foram obtidos os seguintes valores para o parâmetro de extensividade q para o ruído branco binário: 0,0615 e 0,0200.

Os valores da complexidade $C(n)$ para as seqüências S1, S2 e S3 são 0,6843, 0,2209, 1,0062 e 0,5579, respectivamente.

5.2 Cálculo do parâmetro de extensividade q e da complexidade $C(n)$

5.2.1 Câmara climática

A figura 12 mostra o gráfico de entalpia em função do tempo para o animal que estava na câmara climática.

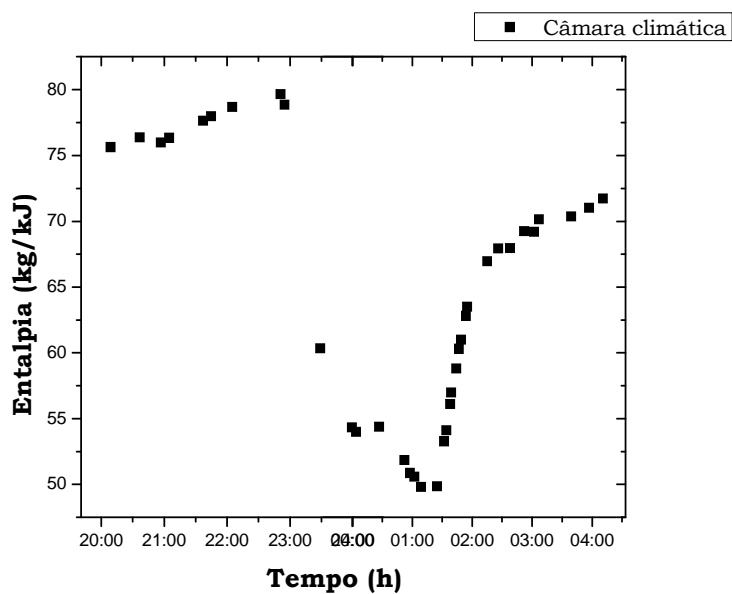


Figura 12 - Gráfico de entalpia em função do tempo para o animal que estava na câmara climática.

A figura 13 mostra o gráfico do parâmetro q em função do tempo para o animal que estava na câmara climática.

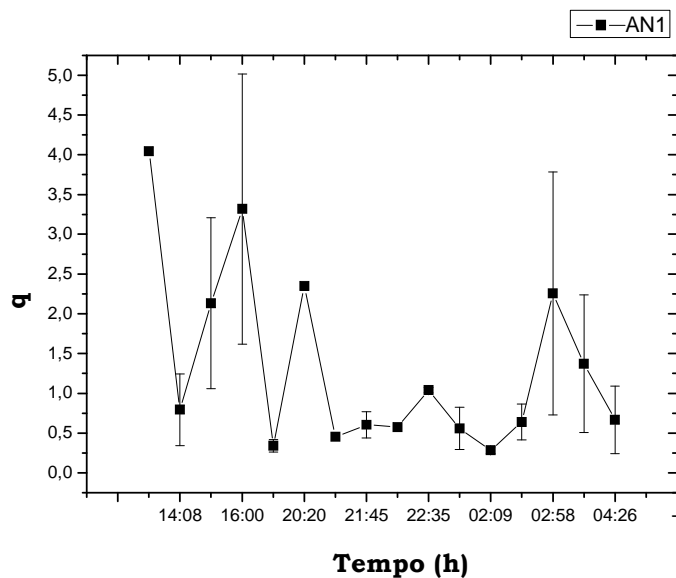


Figura 13 – Gráfico do parâmetro q em função do tempo para o animal que estava na câmara climática.

A figura 14 mostra o gráfico da complexidade $C(n)$ em função do tempo para o animal que estava na câmara climática.

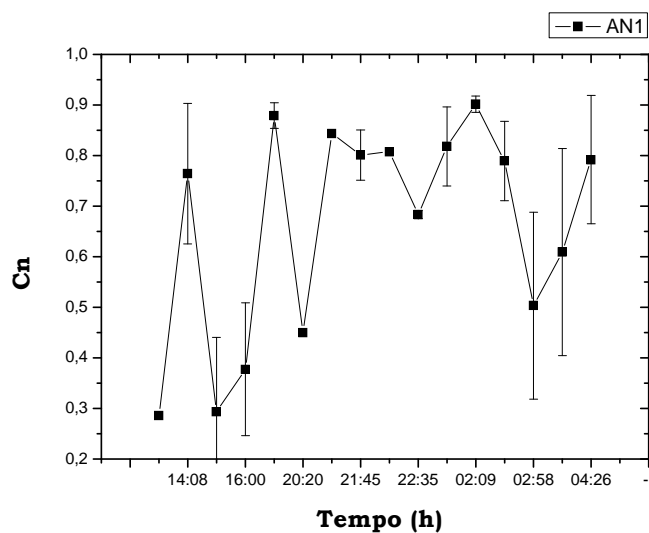


Figura 14 – Gráfico da complexidade $C(n)$ em função do tempo para o animal que estava na câmara climática.

A figura 15 mostra o gráfico de entalpia em função do tempo para o animal que estava no grupo controle.

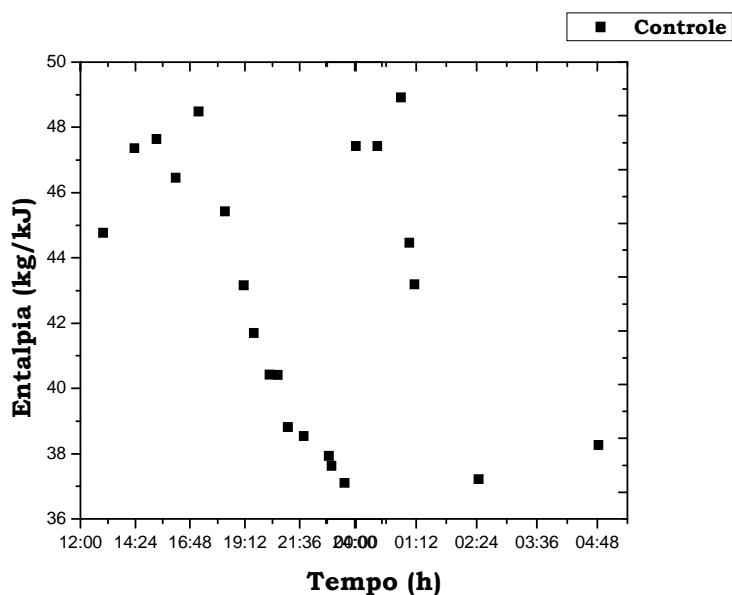


Figura 15 - Gráfico de entalpia em função do tempo para o animal que estava no grupo controle.

A figura 16 mostra o gráfico do parâmetro q em função do tempo para o animal que estava no grupo controle (fora da câmara climática).

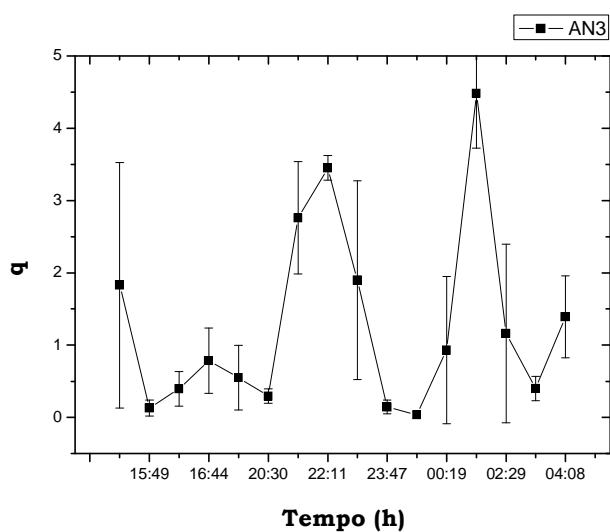


Figura 16 – Gráfico do parâmetro q em função do tempo para o animal controle.

A figura 17 mostra o gráfico da complexidade $C(n)$ em função do tempo para o animal controle.

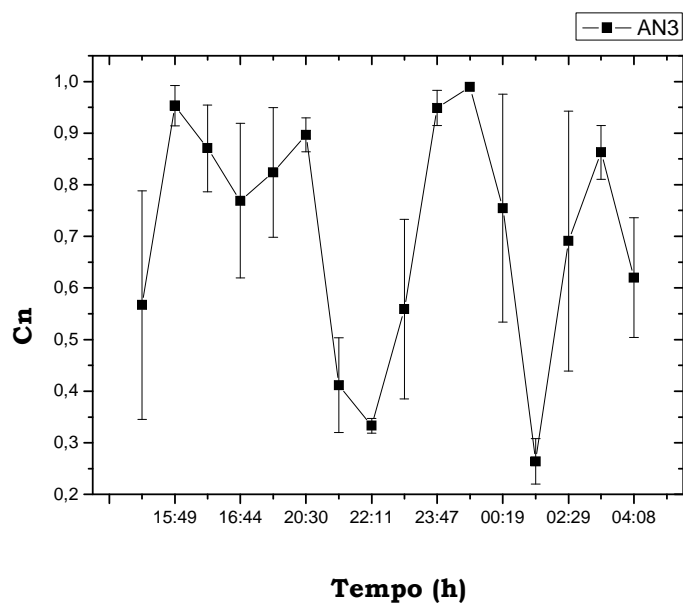


Figura 17 – Gráfico da complexidade $C(n)$ em função do tempo para o animal controle.

5.2.2 Piquete experimental

A figura 18 mostra o gráfico de entalpia em função do tempo para o Dia um (Aquisição de sinais realizada com dois animais no decorrer de um dia de temperaturas elevadas).

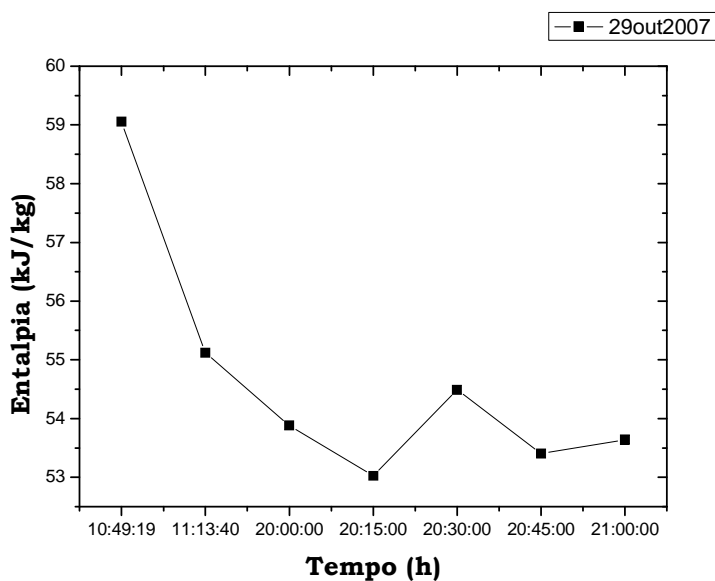


Figura 18 – Gráfico de entalpia em função do tempo para o dia 29 de outubro de 2007.

A tabela 2 indica eventos observados para o animal 690 no dia Um.

Tabela 2 - Eventos observados para o animal 690 no dia Um.

Horário	Evento
10:00	Os eletrodos foram colocados
13:00	Reposição de eletrodos
20:40	Animais deitados e ruminando

A figura 19 mostra o gráfico do parâmetro q em função do tempo para o animal 690 no Dia Um.

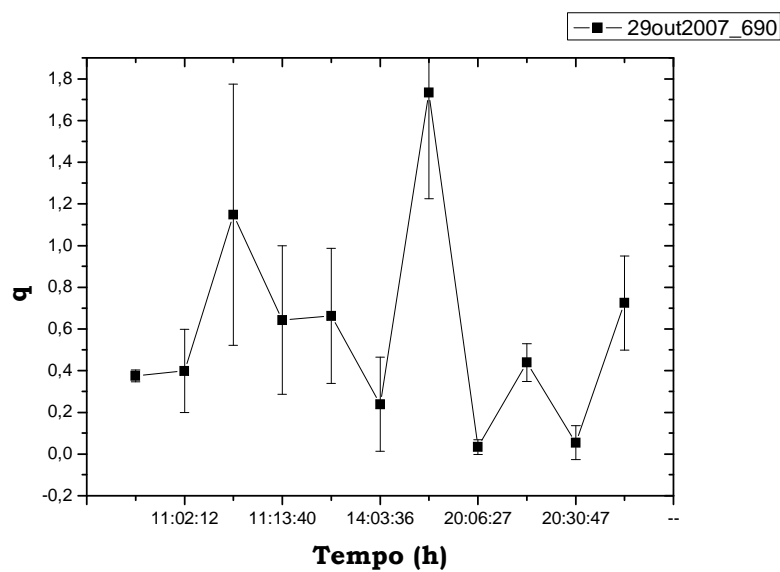


Figura 19 – Gráfico do parâmetro q em função do tempo para o animal 690 no dia 29 de outubro de 2007.

A figura 20 mostra o gráfico da complexidade $C(n)$ em função do tempo para o animal 690 no Dia Um.

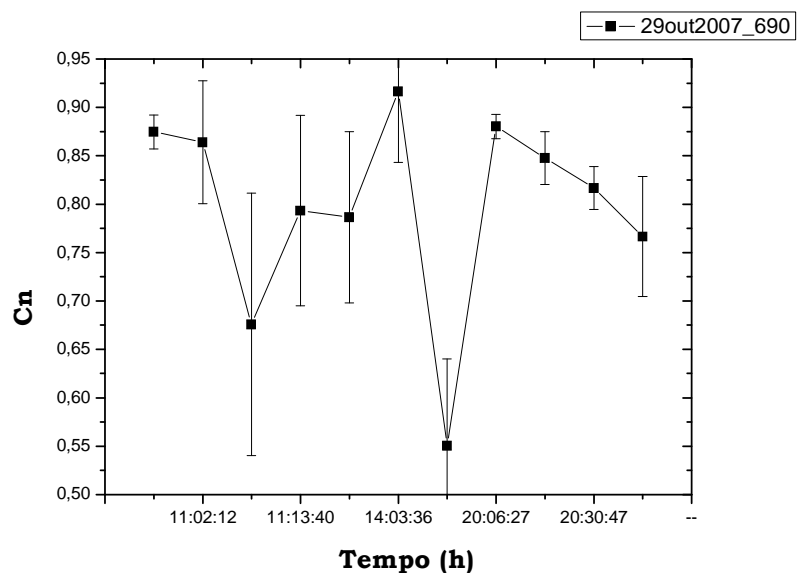


Figura 20 – Gráfico da complexidade $C(n)$ em função do tempo para o animal 690 no dia 29 de outubro de 2007.

A tabela 3 indica eventos observados para o animal 696 no dia Um.

Tabela 3 - Eventos observados para o animal 696 no dia Um.

Horário	Evento
10:00	Os eletrodos foram colocados
13:00	Reposição de eletrodos
19:00	Reposição de eletrodos
20:40	Animais deitados e ruminando

A figura 21 mostra o gráfico do parâmetro q em função do tempo para o animal 696 no Dia Um.

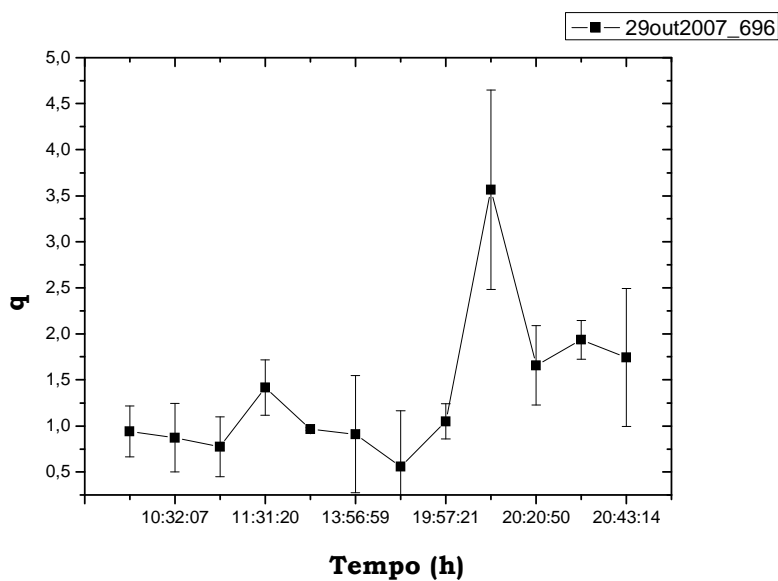


Figura 21 – Gráfico do parâmetro q em função do tempo para o animal 696 no dia 29 de outubro de 2007.

A figura 22 mostra o gráfico da complexidade $C(n)$ em função do tempo para o animal 696 no Dia Um.

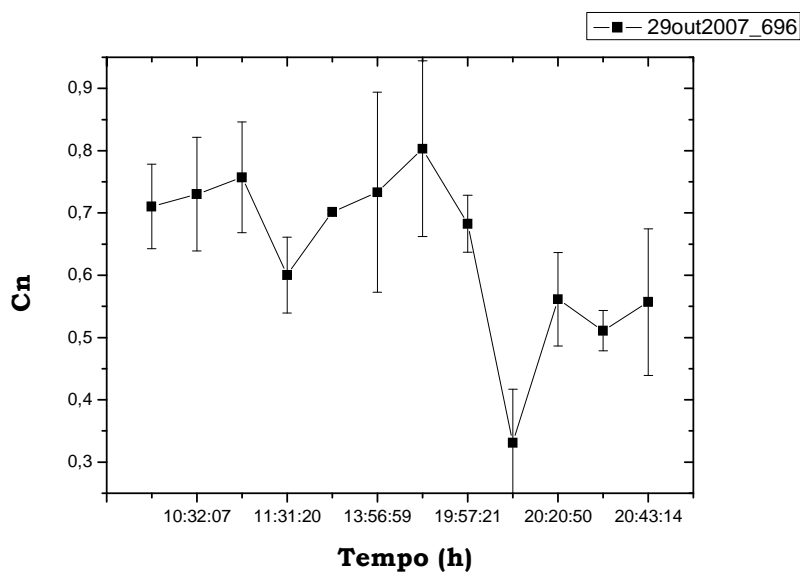


Figura 22 - Gráfico da complexidade $C(n)$ em função do tempo para o animal 696 no dia 29 de outubro de 2007.

A figura 23 mostra o gráfico de entalpia em função do tempo para o Dia dois (Aquisição de sinais realizada com quatro animais. Todos os animais foram submetidos a um período de repouso (15 min) antes da primeira aquisição).

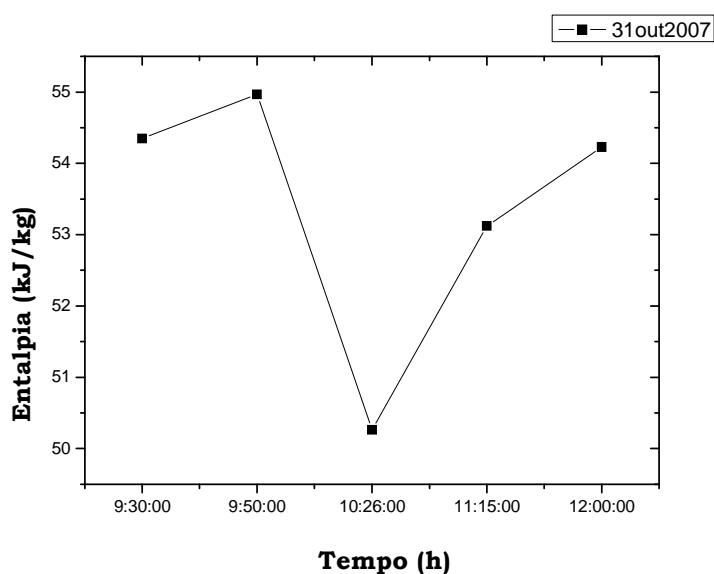


Figura 23 - Gráfico de entalpia em função do tempo para o dia 31 de outubro de 2007.

A tabela 4 indica eventos observados para o animal 693 no dia Dois.

Tabela 4 - Eventos observados para o animal 693 no dia Dois.

Horário	Evento
08:35	Eletrodos começam a ser posicionados
08:50	Eletrodos totalmente posicionados
09:35	Comendo
09:40	Comendo
09:40	Andando
10:11	Parado em pé
10:50	Reposição de eletrodos
12:02	Bebendo água

A figura 24 mostra o gráfico do parâmetro q em função do tempo para o animal 693 no Dia Dois.

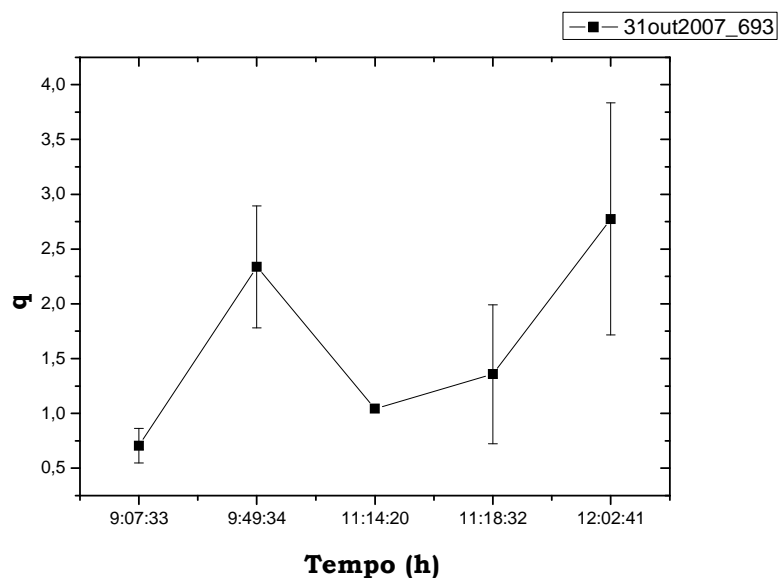


Figura 24 – Gráfico do parâmetro q em função do tempo para o animal 693 no dia 31 de outubro de 2007.

A figura 25 mostra o gráfico da complexidade $C(n)$ em função do tempo para o animal 693 no Dia Dois.

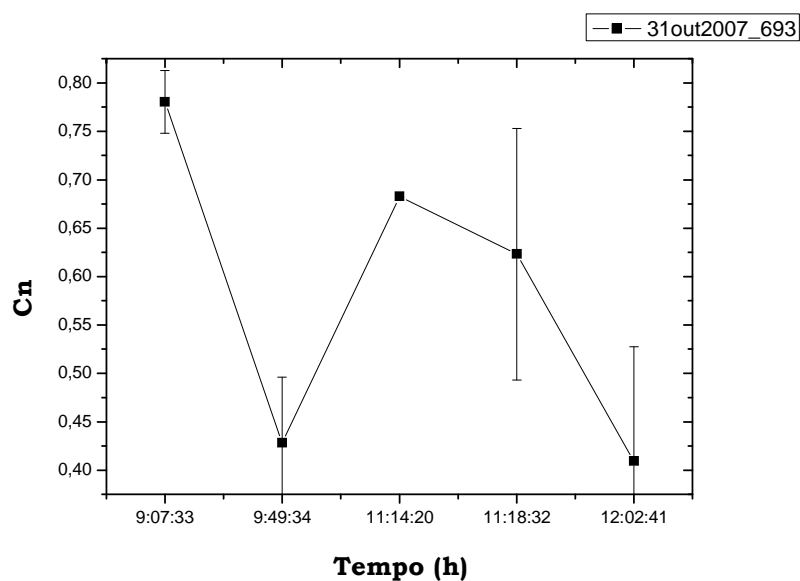


Figura 25 - Gráfico da complexidade $C(n)$ em função do tempo para o animal 693 no dia 31 de outubro de 2007.

A tabela 5 indica eventos observados para o animal 694 no dia Dois.

Tabela 5 - Eventos observados para o animal 694 no dia Dois.

Horário	Evento
08:55	Eletrodos começam a ser posicionados
09:15	Eletrodos totalmente posicionados
09:35	Comendo
10:50	Reposição de eletrodos

A figura 26 mostra o gráfico do parâmetro q em função do tempo para o animal 694 no Dia Dois.

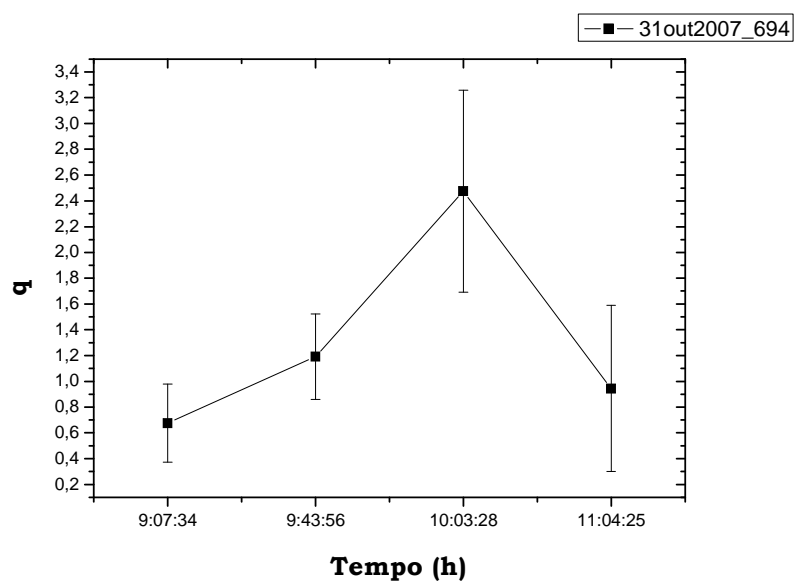


Figura 26 – Gráfico do parâmetro q em função do tempo para o animal 694 no dia 31 de outubro de 2007.

A figura 27 mostra o gráfico da complexidade $C(n)$ em função do tempo para o animal 694 no Dia Dois.

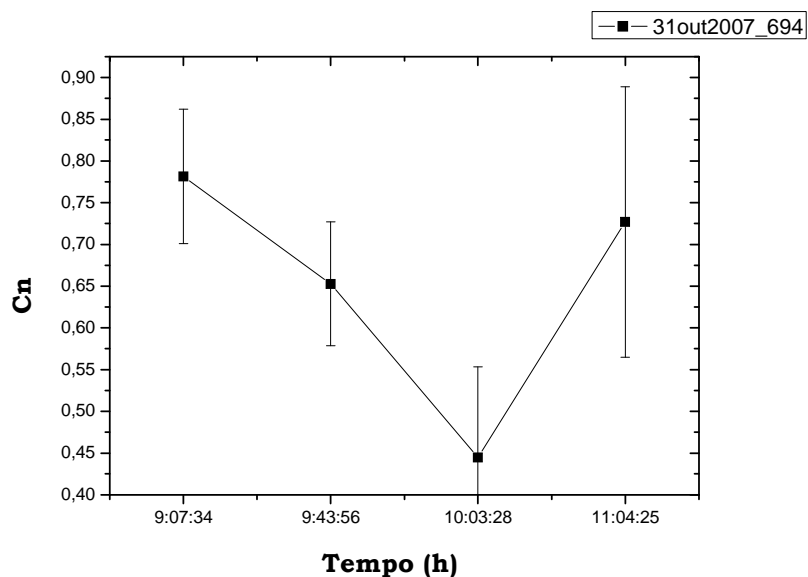


Figura 27 - Gráfico da complexidade $C(n)$ em função do tempo para o animal 694 no dia 31 de outubro de 2007.

A tabela 6 indica eventos observados para o animal 692 no dia Dois.

Tabela 6 - Eventos observados para o animal 692 no dia Dois.

Horário	Evento
09:25	Eletrodos totalmente posicionados
10:11	Parado, sem nenhuma atividade específica
10:50	Reposição de eletrodos
11:25	Comendo
11:32	Comendo
11:50	Comendo
11:54	Comendo

A figura 28 mostra o gráfico do parâmetro q em função do tempo para o animal 692 no Dia Dois.

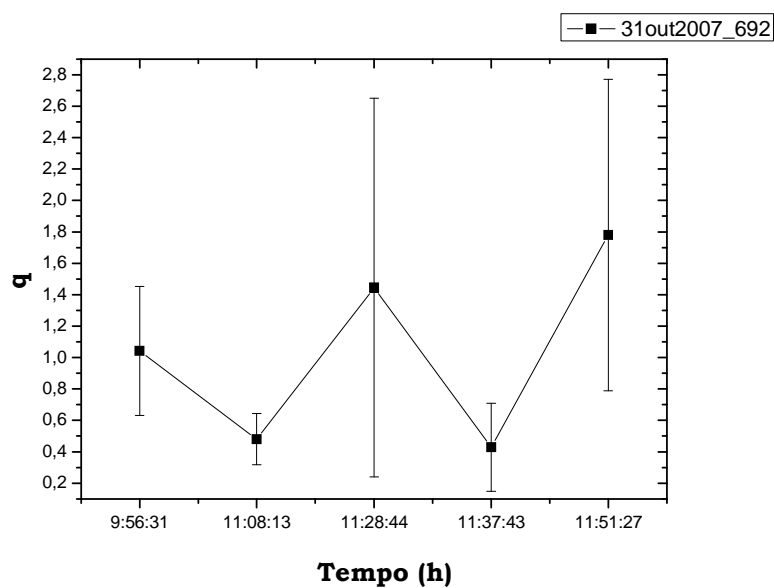


Figura 28 – Gráfico do parâmetro q em função do tempo para o animal 692 no dia 31 de outubro de 2007.

A figura 29 mostra o gráfico da complexidade $C(n)$ em função do tempo para o animal 692 no Dia Dois.

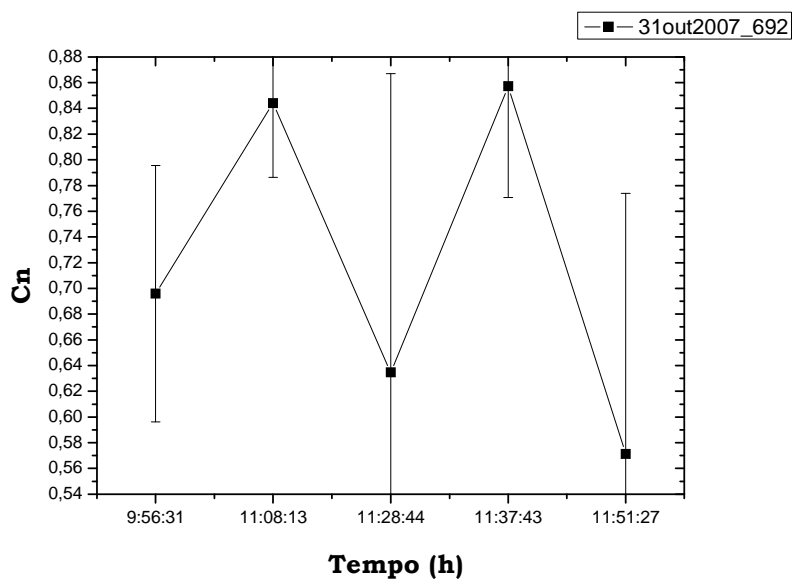


Figura 29 - Gráfico da complexidade $C(n)$ em função do tempo para o animal 692 no dia 31 de outubro de 2007.

A tabela 7 indica eventos observados para o animal 699 no dia Dois.

Tabela 7 - Eventos observados para o animal 699 no dia Dois.

Horário	Evento
09:30	Início do manejo
09:48	Animais colocados no tronco
10:02	Eletrodos totalmente posicionados
10:11	Parado, sem nenhuma atividade específica
10:50	Reposição de eletrodos
11:25	Comendo
11:32	Comendo
11:50	Comendo
11:54	Comendo

A figura 30 mostra o gráfico do parâmetro q em função do tempo para o animal 699 no Dia Dois.

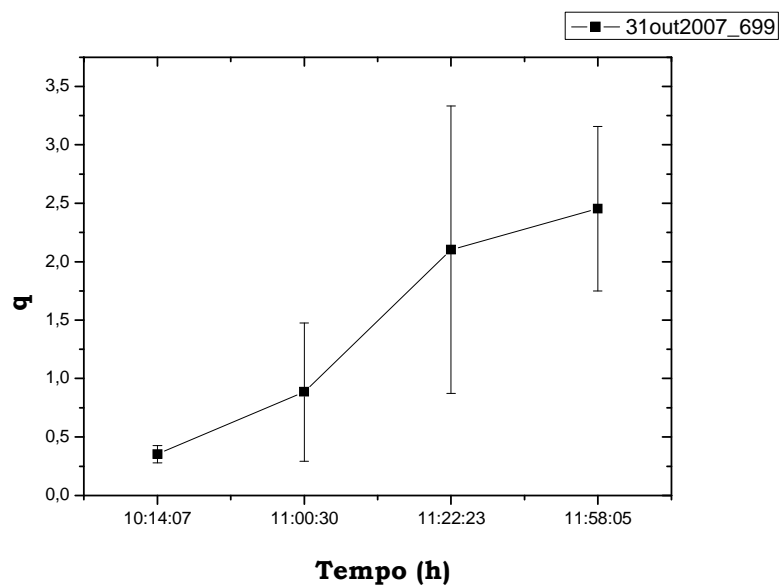


Figura 30 – Gráfico do parâmetro q em função do tempo para o animal 699 no dia 31 de outubro de 2007.

A figura 31 mostra o gráfico da complexidade $C(n)$ em função do tempo para o animal 699 no Dia Dois.

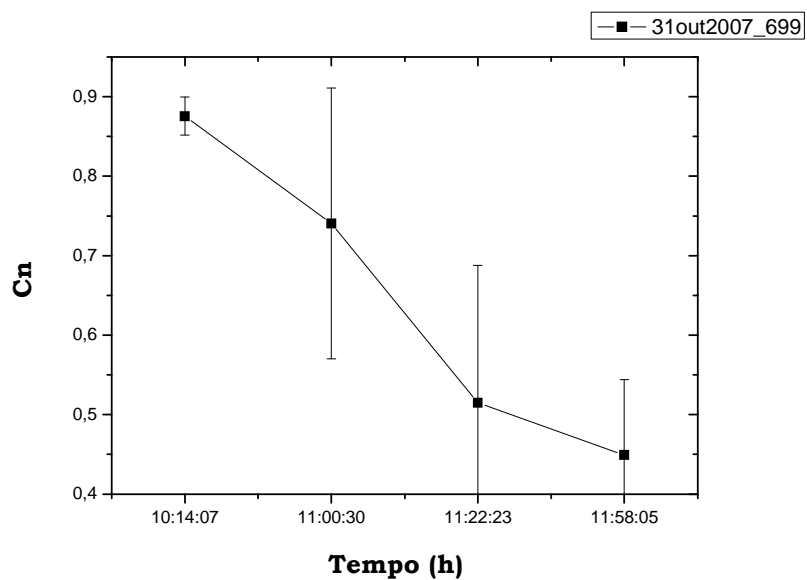


Figura 31 - Gráfico da complexidade $C(n)$ em função do tempo para o animal 699 no dia 31 de outubro de 2007.

A figura 32 mostra o gráfico de entalpia em função do tempo para o Dia Três (Aquisição de sinais realizada com quatro animais. A aquisição foi iniciada imediatamente após a manipulação dos animais).

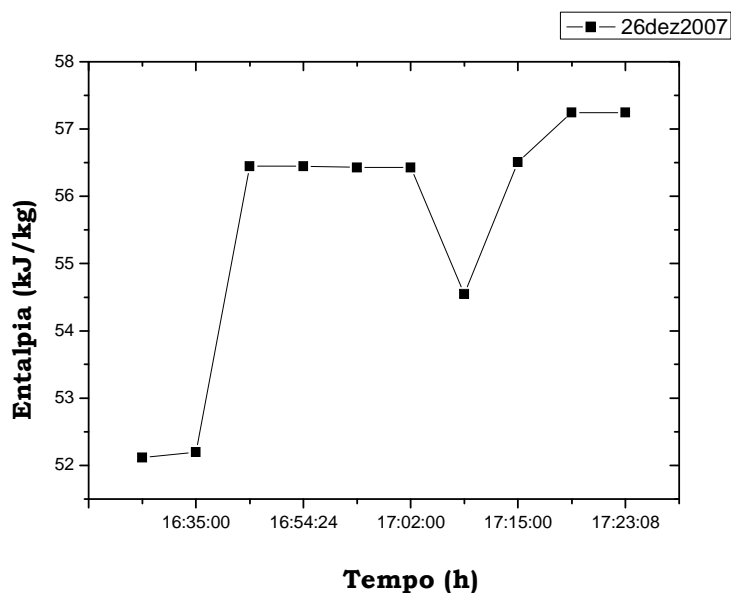


Figura 32 – Gráfico de entalpia em função do tempo para o dia 26 dezembro de 2007.

A tabela 8 indica eventos observados para o animal 588 no dia Três.

Tabela 8 - Eventos observados para o animal 588 no dia Três.

Horário	Evento
16:10	Eletrodos totalmente posicionados
16:18	O animal foi colocado na sombra
16:50	Bebendo água

A figura 33 mostra o gráfico do parâmetro q em função do tempo para o animal 588 no Dia Três.

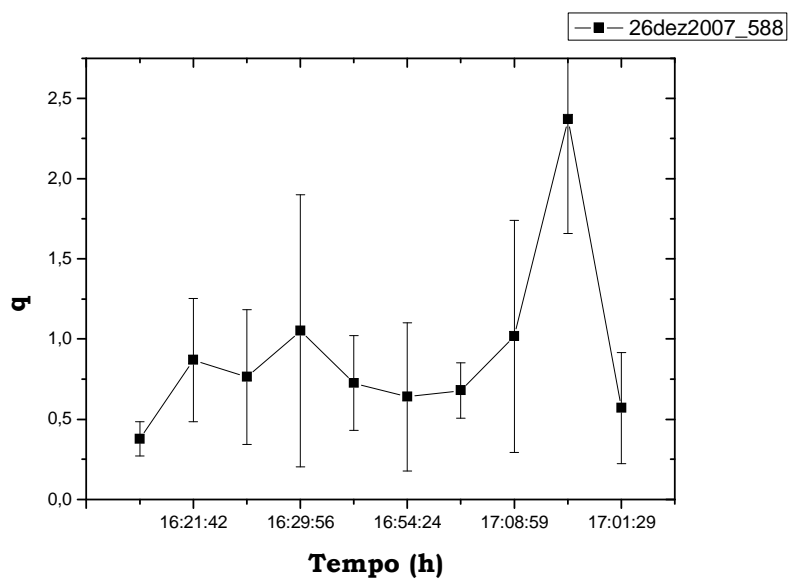


Figura 33 – Gráfico do parâmetro q em função do tempo para o animal 588 no dia 26 de dezembro de 2007.

A figura 34 mostra o gráfico da complexidade $C(n)$ em função do tempo para o animal 588 no Dia Três.

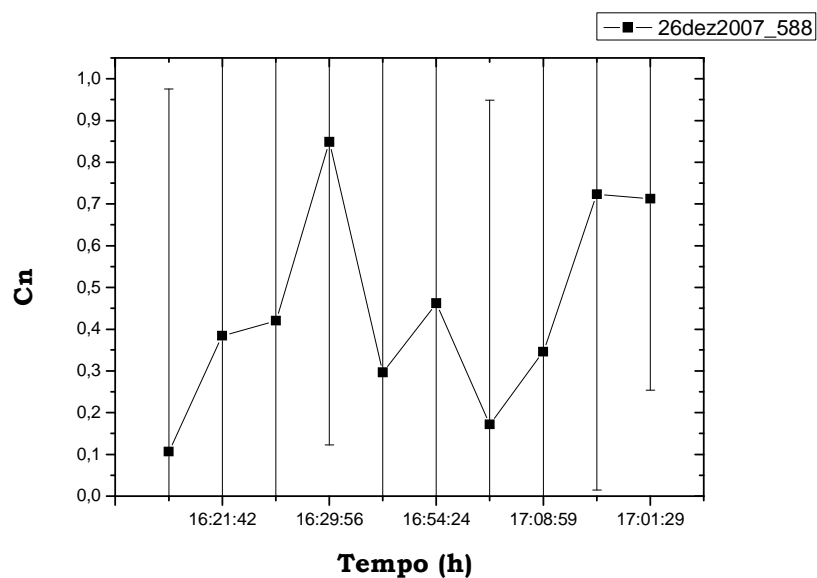


Figura 34 - Gráfico da complexidade $C(n)$ em função do tempo para o animal 588 no dia 26 de dezembro de 2007.

A tabela 9 indica eventos observados para o animal 694 no dia Três.

Tabela 9 - Eventos observados para o animal 694 no dia Três.

Horário	Evento
16:40	Eletrodos totalmente posicionados
17:05	Animal liberado do tronco

A figura 35 mostra o gráfico do parâmetro q em função do tempo para o animal 694 no Dia Três.

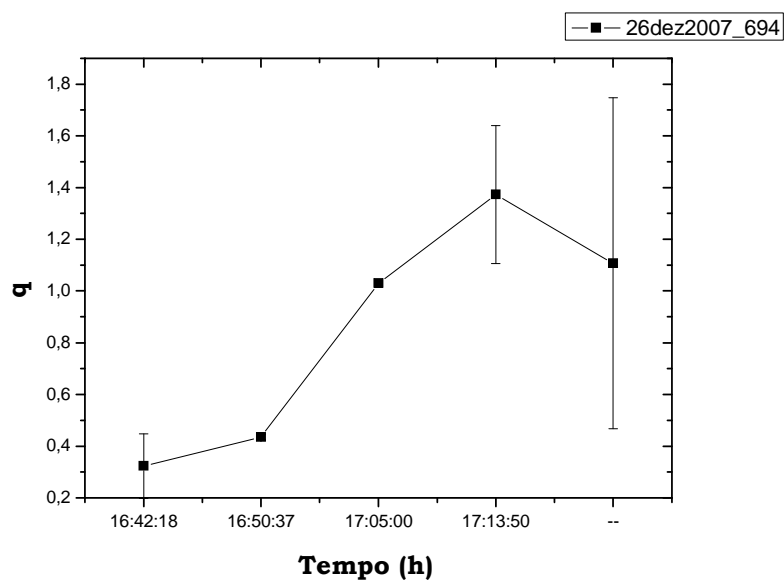


Figura 35 – Gráfico do parâmetro q em função do tempo para o animal 694 no dia 26 de dezembro de 2007.

A figura 36 mostra o gráfico da complexidade $C(n)$ em função do tempo para o animal 694 no Dia Três.

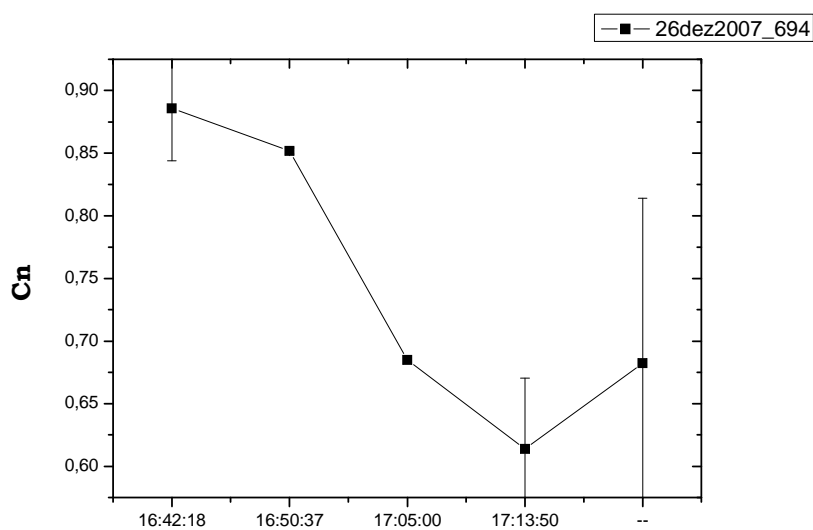


Figura 36 - Gráfico da complexidade $C(n)$ em função do tempo para o animal 694 no dia 26 de dezembro de 2007.

A tabela 10 indica eventos observados para o animal 699 no dia Três.

Tabela 10 - Eventos observados para o animal 699 no dia Três.

Horário	Evento
17:25	Eletrodos totalmente posicionados
17:31	Animal liberado do tronco

A figura 37 mostra o gráfico do parâmetro q em função do tempo para o animal 699 no Dia Três.

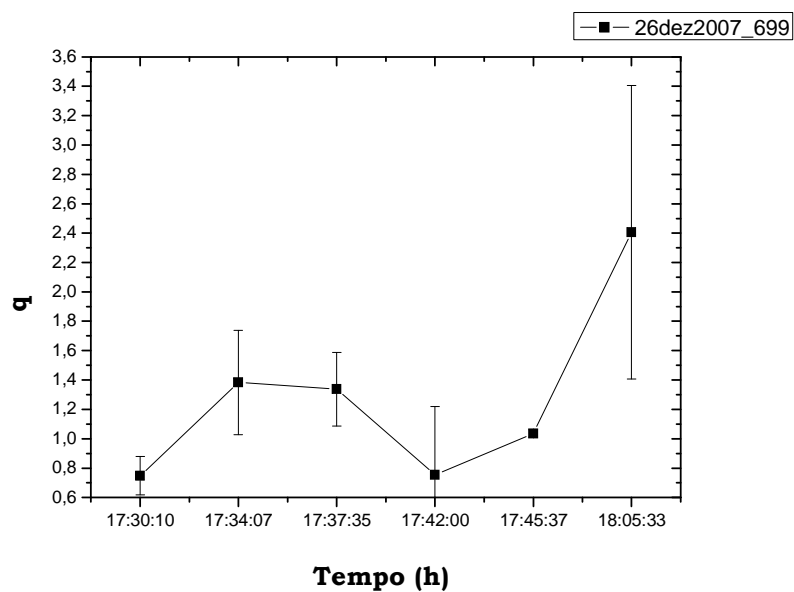


Figura 37 – Gráfico do parâmetro q em função do tempo para o animal 699 no dia 26 de dezembro de 2007.

A figura 38 mostra o gráfico da complexidade $C(n)$ em função do tempo para o animal 699 no Dia Três.

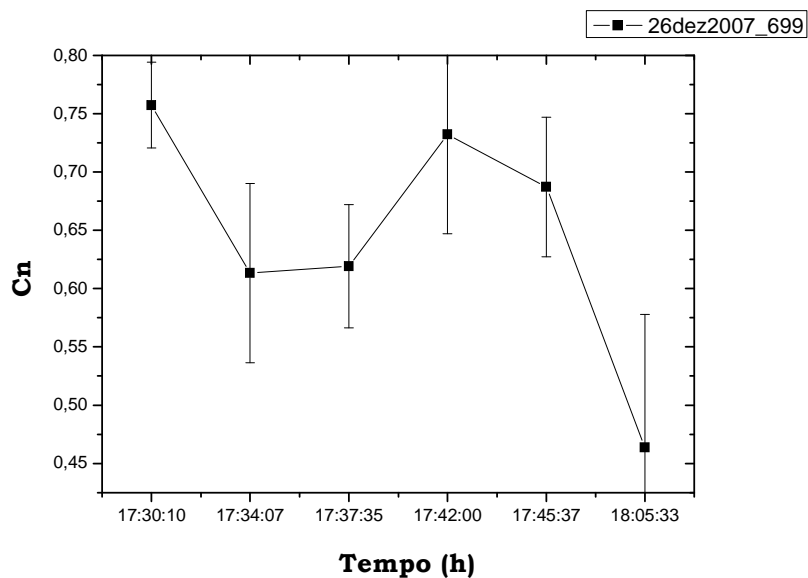


Figura 38 - Gráfico da complexidade $C(n)$ em função do tempo para o animal 699 no dia 26 de dezembro de 2007.

A tabela 11 indica eventos observados para o animal 693 no dia Três.

Tabela 11 - Eventos observados para o animal 693 no dia Três.

Horário	Evento
17:45	Eletrodos totalmente posicionados
17:49	Animal liberado do tronco
18:07	Animal volta para o tronco para reposição de eletrodos
18:27	Reposição de eletrodos encerrada
18:34	Jogamos água para refresca-l0

A figura 39 mostra o gráfico do parâmetro q em função do tempo para o animal 693 no Dia Três.

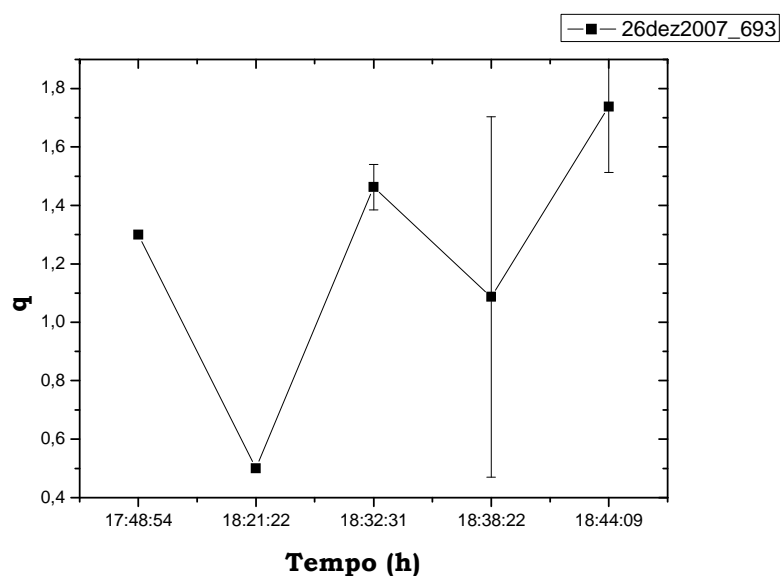


Figura 39 – Gráfico do parâmetro q em função do tempo para o animal 693 no dia 26 de dezembro de 2007.

A figura 40 mostra o gráfico da complexidade $C(n)$ em função do tempo para o animal 693 no Dia Três.

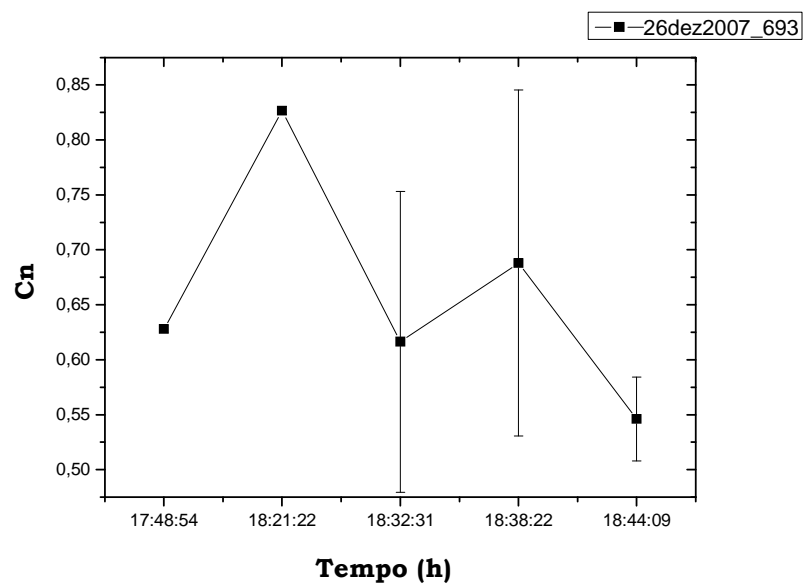


Figura 40 - Gráfico da complexidade $C(n)$ em função do tempo para o animal 693 no dia 26 de dezembro de 2007.

6 Discussão

Os valores obtidos para a complexidade $C(n)$ do ruído branco binário usando o algoritmo proposto (APÊNDICE A) estão de acordo com o esperado, ou seja, bem próximos de 1 (um), que é a complexidade para uma seqüência completamente aleatória. A comparação do espectro de potencia de um sinal cerebral de complexidade próxima de 1 (um) (Figura 7) com o espectro de potencias do ruído (Figura 9) mostrou significativa diferença. O primeiro tem freqüências características de EEG enquanto o segundo apresenta todas as freqüências dentro do espectro avaliado. O fato de o sinal cerebral adquirido diferir do ruído quanto a sua distribuição espectral, mas assemelhar-se a ele no que diz respeito á sua complexidade pode ser explicado levando-se em conta que o sinal de EEG possui também comportamento caótico e de fato sinais caóticos possuem complexidade também próximas de um. Este fato foi verificado após o cálculo da complexidade de um sinal caótico gerado pelo mapa logístico mostrar uma medida da complexidade próxima de um (Tabela 1).

Não existem outros métodos vigentes para determinar o parâmetro de extensividade q de uma serie temporal diretamente, isso torna a validação do método bastante complexa, a opção encontrada foi analisar o comportamento do método desenvolvido e do algoritmo proposto diante de um sistema conhecido. Foi escolhido para tal, o mapa logístico, representado pela eq. (15), no limite em que o sistema se torna caótico, ou seja, $r=4$. Em um sistema caótico, a condição inicial (x_0) é determinante da evolução

temporal do sistema e no caso do mapa logístico o parâmetro r determina o seu comportamento. Verificar se q era um parâmetro que se preservava mesmo com variações na condição inicial permitiu verificar se o parâmetro q era sensível ao comportamento do sistema mesmo alterando sua evolução temporal.

Com a utilização do mapa logístico no limite caótico ($r=4$) e variando-se a condição inicial (x_0) observou-se que o parâmetro q manteve-se praticamente constante, mesmo com a mudança na evolução temporal do sistema. Este resultado permite estabelecer que o parâmetro q caracteriza o sistema e não os estados do sistema. Cabe lembrar neste ponto que o cérebro é um sistema que gera sinais de EEG, e estes sinais podem representar diferentes estados do cérebro. Sendo assim pode-se afirmar que o cérebro é um sistema capaz de se encontrar em diferentes estados dependendo de uma certa condição inicial (ou estímulo inicial) mas o sistema gerador, neste caso a fisiologia e anatomia cerebral não mudam quando o EEG muda. Se o q é capaz de manter-se constante (Figura 11) com a variação da evolução temporal do sistema para uma mesma estrutura geradora, neste caso o mapa logístico com $r=4$, pode-se supor que ele seja capaz de caracterizar um sistema dinâmico como o cérebro. A figura 10 mostra o efeito da alteração da fonte geradora sobre o parâmetro q , ou seja, diferentes fontes geradoras (r) têm diferentes valores de q .

Os valores de q (0,0615 e 0,0200) encontrados para o ruído branco binário estão bem próximo de zero, o que significa que o algoritmo usado para calcular o q entende que no caso do ruído branco a entropia normalizada é diretamente proporcional ao número de estados possíveis do

sistema Este resultado está de acordo com o observado em outras definições de entropia como a de Shannon e a de Reny. Ou seja, a entropia de um sistema completamente aleatório é função do número de estados do sistema.

A complexidade das seqüências conhecidas S1, S2, S3 e S4 serviu como referencia para determinar as componentes do sinal de EEG. Valores baixos como 0,2209 indicam periodicidade, uma vez que essa foi a complexidade de um sinal periódico, já os valores acima de 0,5579 foram associados seqüências aleatórias e caóticas.

Após a validação do método, este foi utilizado para avaliar a base de dados de sinais cerebrais de bovinos, formada em diferentes situações. Juntamente com o parâmetro q e a complexidade $C(n)$ foi calculada a entalpia no decorrer do período de aquisição dos dados.

A entalpia indica a quantidade de calor que precisa ser removida de um ambiente para permitir condições de sobrevivência/conforto. Como há muitas variáveis que influenciam no ambiente (temperatura, umidade, velocidade do vento, radiação, entre outras) e há muitas diferenças entre elas optou-se pela entalpia como forma de sintetizar a avaliação da situação de conforto em uma única variável.

O experimento em câmara climática visava inicialmente estabelecer uma relação direta entre entalpia e o sinal cerebral observado. No entanto, tanto para o parâmetro de extensividade q como para a complexidade $C(n)$ os valores obtidos para o animal na câmara climática (Figuras 13 e 14) não foram significativamente diferentes dos obtidos para os animais do grupo controle (Figuras 16 e 17). Também não foi possível estabelecer uma relação direta entre entalpia (Figura 12 e 15) e os valores obtidos para as duas

variáveis (q e $C(n)$). Uma das prováveis causas deste fato é que os animais foram mantidos em gaiolas durante o experimento e o estresse de contenção sobrepôs-se ao estresse térmico. Com base nestes resultados, optou-se por trabalhar com os animais com maior liberdade de movimento.

Para os animais que permaneceram no piquete observou-se que após algum tipo de manejo (Tabelas 2 a 10), como por exemplo, a fixação do equipamento e eletrodos, o valor de q mostrava-se menor do que em situações isentas de intervenção (Tabelas 2 a 10), como, por exemplo, animais comendo, bebendo, ruminando ou movendo-se livremente. Não foi observada uma relação direta entre a entalpia (Figuras 18, 23 e 32) e o valor do parâmetro q (Figuras 19, 21, 24, 26, 30, 33, 35, 37 e 39) e da complexidade $C(n)$ (Figuras 20, 22, 25, 27, 31, 34, 36, 38 e 40), indicando mais uma vez que o manejo se sobrepõe ao estresse térmico.

Para a maioria dos trechos analisados a complexidade $C(n)$ esteve entre 0,2000 e 1,000, isto indica a presença no sinal desde características periódicas ($C(n)$ baixo) até aleatoriedade e caoticidade ($C(n)$ alto). Neste caso a medida de complexidade não foi sensível aos eventos geradores dos sinais observados, no entanto, serviram para caracterizar bem o sinal em relação ao ruído e às componentes caóticas.

Estes fatos experimentais permitem propor a existência de periodicidade e de comportamento caótico nos sinais cerebrais de bovinos, e tal proposição permite inferir que o grau de extensividade dos sinais, medido pelo parâmetro q se relaciona com a mudança do estado gerador, fato este observado quando da manipulação do animal, o que permite propor que o manejo do animal é um estímulo que altera a sua atividade elétrica cerebral

do ponto de vista da extensividade. Os resultados ilustram este fato. Nota-se nos gráficos de q em função do tempo que existe uma tendência do sinal de EEG apresentar baixos valores para q sempre que ocorre o manejo do animal e valores mais elevados quando este se encontra em uma situação isenta de intervenção. Os valores observados para q mostram que o sinal de EEG de bovinos pode ter características super e subextensivas, com $q < 1$ e $q > 1$, respectivamente.

Estes fatos levam a uma questão um tanto quanto inusitada. Se a morfologia cerebral mantém-se a mesma durante as mudanças detectadas pelo parâmetro q , o que de fato está mudando no cérebro? Estas questões podem ser discutidas à luz dos trabalhos de BULLOCK (1989) e também de BULLMORE e SPORNS (2009) que mostram que além da estrutura morfológica existe uma estrutura funcional. Pode-se assim inferir que as mudanças de extensividade observadas no sinal de EEG possam estar relacionadas com mudanças funcionais. Este aspecto do parâmetro q abre uma linha de investigação muito importante dentro deste contexto de funcionalidade cerebral.

7 Conclusões

Conclui-se que é possível caracterizar os sinais cerebrais de bovinos quanto à extensividade e que a mesma depende do estímulo ao qual o animal foi submetido. A complexidade foi mais eficiente na caracterização da natureza do sinal do que na diferenciação de situações específicas a que os animais foram submetidos levando a crer que os sinais cerebrais de bovinos não possui apenas comportamento oscilatório.

A metodologia desenvolvida foi eficiente para testar a hipótese apresentada nesta tese, permitindo calcular a medida de complexidade e a medida da extensividade dos sinais elétricos cerebrais de bovinos. Além disso, a base de dados gerada tornou-se uma rica fonte de pesquisa no que se refere aos sinais cerebrais de bovinos.

Referências

- ARCE, A.I.C. **Redes de sensores sem fio na coleta de dados fisiológicos de bovinos para aplicações na zootecnia de precisão**. 2008. 86 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2008.
- ABÁSALO, D. et al. Analysis of EEG background activity in Alzheimer's disease patients with Lempel-Ziv complexity and central tendency measure. **Medical Engineering and Physics**, Oxford, v.28, p. 315-322, 2006.
- ALBRIGHT, L.D. Environment control for animals and plants. St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers Michigan. **ASAE Textbook**, 4, 453p, 1990.
- BIM2-433-160 Data Sheet. 433MHz high speed FM radio transceiver module. Radiometrix Co. (2003). Disponível em: <<http://www.radiometrix.co.uk/dsheets/bim2.pdf> >. Acesso em: 24 jan. 2005.
- BULLMORE E.; SPORNS O. Complex brain networks: graph theoretical analysis of structural and functional systems. **Nature Reviews Neuroscience**, London, v.10, n.3, p.186-98, 2009.
- BULLOCK, T.H. The micro-EEG represents varied degrees of cooperativity among wide-band generators. In: BASAR, E., BULLOCK, T.H. (Eds.) **Brain dynamics: progress and perspectives**. Berlin: Springer-Verlag.5-12.
- CAPURRO et al. Tsallis entropy and cortical dynamics: the analysis of EEG signals. **Physica A**, Amsterdam, v.257, p.149-55, 1998.
- COSTA, E.J.X. **Interface cérebro-computador usando redes neurais artificiais e técnicas avançadas de processamento digital de sinais**. 2000. 216 f. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.
- COSTA, E.J.X.; CABRAL, E.F. Short time fractal dimension for EEG signal processing in brain-computer interface. In: INTERNATIONAL CONFERENCE

ON SIGNAL PROCESSING APPLICATION AND TECHNOLOGY, 2000, Dallas. **Proceedings...** Dallas: CMP Media Inc., 2000. 1 CD-ROM.

DAUBECHIES, I. **Ten lectures on wavelets**. Philadelphia: CBMS Lectures notes series - SIAM, 1992.

FIEDLER-FERRARA, N.; PRADO, C.P.C. **Caos: uma introdução**. São Paulo, Edgard Blücher, 1994.

GACSALYI, U.; ZABIELSKI, R.; PIERZYNOWSKI, S.G. Telemetry facilitates long-term recording of gastrointestinal myoelectrical activity in pigs. **Experimental Physiology**, New York, v.85, n.2, p.239-241, 2000.

GÓMEZ et al. Complexity analysis of the magnetoencephalogram background activity in Alzheimer's disease patients. **Medical Engineering and Physics**, Oxford, v.28, n.9, p.851-859, 2006.

KANNATHAL et al. Entropies for detection of epilepsy in EEG. **Computer Methods and Programs in Biomedicine**, Amsterdam, v.80, p.187-94, 2005.

KELLAWAY, P.; PETERSÉN, I. **Quantitative analytic studies in epilepsy**. New York: Raven Press, 1976.

LEMPEL, A.; ZIV, J. On the complexity of finite sequences. **IEEE Transactions on Information Theory**, New York, v.22, n.1, p.75-81, 1976.

MARCHANT, B.P. Time-frequency analysis for biosystems engineering. **Biosystems Engineering**, San Diego, v.85, n.3, p.261-281, 2003.

MAZZA et al. Tsallis information measure applied to the analysis of EEG signals in a model of the somatosensory system. **Neurocomputing**, Amsterdam, v.44-46, p.915-21, 2002.

MERRICK, A.W.; SCHARP, D.W. Electroencephalography of resting behavior in cattle, with observations on the question of sleep. **American Journal of Veterinary Research**, Schaumburg, v.32, n.12, p.1993-1997, 1971.

MOURA, D. J. et al. The use of enthalpy as a thermal comfort index. In: Livestock environment, v.5, St. Joseph. **Proceedings...** St. Joseph: ASAE, v.1, p.242-248, 1997.

NAÃS, I.A, MOURA, D. J, LAGANÃ, C. Utilização da entalpia como variável física de avaliação do conforto térmico na avicultura de corte. In: CONFERÊNCIA APINCO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AVÍCOLAS, 1995, Curitiba. **Anais...** Curitiba: APINCO, 1995. p.201 – 202.

NÃÃS, I.A. Applications of Mechatronics to Animal Production. **Agricultural Engineering International**: The CIGR EJournal, LUGAR, v. IV, p.339-345, 2002.

NAGARAJAN, R. Quantifying physiological data with Lempel-Ziv complexity – certain issues. **Transactions on Biomedical Engineering**, New York, v.49, n.11, p.1371-73, 2002.

NAGARAJAN, R; SZCZEPANSKI, J; WAJNRYB, E. Interpreting non-random signatures in biomedical signal with Lempel-Ziv complexity. **Physica D**, Amsterdam, v.237, p.359-64, 2008.

PANDORFI, H. et al. Avaliação de diferentes locais de implante de microchip para identificação eletrônica de leitões e sua validação por meio da análise de imagem. Disponível em: <http://pt.engormix.com/MA-suinocultura/administracao/artigos/avaliacao-diferentes-locais-implante_48.htm>. Acesso em: 20 out. 2009.

PEI, X. et al. Quantitative measure of complexity of the dynamic event-related EEG data. **Neurocomputing**, Amsterdam, v.70, p.263-72, 2006.

QIAN, S. **Introduction to time-frequency and wavelets transforms**. New Jersey: Prentice-Hall, 2002.

QIAN, S.; CHEN, D. **Joint time-frequency analysis**: methods and applications. Upper Saddle River: PTR Prentice Hall, 1996.

SABETI, M.; KATEBI, S. Entropy and complexity measures for EEG signal classification of schizophrenic and control participants. **Artificial intelligence in medicine**, Amsterdam, 2009. In Press.

SILVA, A.C.S. **Aplicação de técnicas de processamento digital de sinais na caracterização de sinais cerebrais de bovinos**. 2005. 106 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2005.

SILVA, A.C.S. et al. A wireless floating base sensor networking for physiological responses of livestock. **Computers and electronics in agriculture**, New York, v.49, p.246-254, 2005.

SILVA, M. A. N.; et al. Influência do sistema de criação sobre o desempenho, condição fisiológica e o comportamento de linhagens de frango de corte. **Revista Brasileira de Zootecia**, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 208-213, 2003.

SILVA, I. J. O., et al. Influence of breeding systems on behavior of two lineages of laying hens exposed to two environmental conditions. **Revista Brasileira de Zootecia**, Viçosa, v. 35, n. 4, 2006.

SUZUKI, M. et al. Electroencephalogram of japanese black calves affected with cerebrocortical necrosis. **Japanese Journal of Veterinary Science**, Tokyo, v.52, n.5, p.1077-1087, 1990.

SZCZPÁNSKI, J. et al. Application of Lempel-Ziv complexity to the analysis of neural discharges. **Network Computation in Neural Systems**, Bristol, v.14, p.335-50, 2003.

TAKEUCHI, T.; SITIZYO, K.; HARADA, E. Analysis of the electroencephalogram in growing calves by use of power spectrum and cross correlation. **American Journal of Veterinary Research**, Schaumburg, v.59, n.6, p.777-781, 1998.

TONG, S. et al. Nonextensive entropy measure of EEG following brain injury from cardiac arrest. **Physica A**, Amsterdam, v.305, p.619-628, 2002.

TSALLIS, C. Possible generalization of Boltzman-Gibbs statistics. **Journal of Statistical Physics**, New York, v.52, n.1/2, p.479-87, 1988.

TSALLIS, C.; PLASTINO, A.R.; ZHENG, W.-M. Power-law sensitivity to initial conditions – new entropic representation. **Chaos, Solitons and Fractals**, Great Britain, v.8, n.6, p885-91, 1997.

ZHANG, X.-S.; ROY, R.J. Predicting movement during anaesthesia by complexity analysis of electroencephalograms. **Medical and Biological Engineering**, Oxford, v.37, p.327-34, 1999.

WEST, J.K.; MERRICK, A.W. A three channel EEG telemetry system for large animals. **Medical and Biological Engineering**, Oxford, v.4, p.273-281, 1966.

APÊNDICE A – A função em MATLAB® responsável pelo cálculo da complexidade $C(n)$ e do parâmetro de extensividade q

function Cn=complexi(varargin)

```
if(nargin< 4)
```

```
    disp('% complexidade: calcula a medida da complexidade cn [1] de um
    sinal usando')
```

```
    disp('% o algoritmo de lempel e ziv e normaliza usando a entropia de
    shanon')
```

```
    disp('% caso a variavel tipo seja 1 ou a de tsallis caso seja 0')
```

```
    disp('% exemplo de uso:')
```

```
    disp('% x =complexi(dados,q,tipo, opt)')
```

```
    disp('% dados = vetor de dados ')
```

```
    disp('% q valor de q estimado ')
```

```
    disp('% tipo de entropia usada = 0 tsallis tipo = 1 shanon')
```

```
    disp('% opt =1 busca q tal que c/bn =1, OPT = 0 calcula a
    complexidade Cn')
```

```
    disp('% Ernane J. X. Costa')
```

```
    disp('% ultima versao em 10 /07 /2007 oi')
```

```
    disp('% [1] Lempel Ziv [IEEE Trans . Inf. Theory IT 22 (1076)]')
```

```
else
```

```
data = varargin{1};
```

```
q=varargin{2};
```

```
tipo=varargin{3};
```

```
r=varargin{4};
```

```
t=0;
```

```
e= size(data);
```

```
N= e(1)
```

```
vet = data;
```

```
xm=mean(vet);
```

```
    s1=0;
```

```

s2=0;
for i=1:N
    if(vet(i)<xm)
        s(i)=0;
        s1=s1+1;
    end
    if(vet(i)>=xm)
        s(i)=1;
        s2=s2+1;
    end
end
end
%calcula a entropia h
ps1=s1/N
ps2=s2/N
if(tipo==1)
    h=(-1/log(2))*((ps1*log(ps1)) + (ps2*log(ps2)));

else
    h = (1/(q-1))*(1-(ps1^q +ps2^q))
    aqui=1
end
% calculo da complexidade
parada=0;
cn=1;
L=1;
i=0;
k=1;
kmax=1;
fla=0;
while((parada==0)&&(L+1 <N)&&(L+k<N))
    if (fla==1)
        i = 0;
        k = 1;

```

```

kmax=1;
fla=0;
end
while (s(i+k)==s(L+k)) %2
    k=k+1;
    if((L+k)>N)%3
        cn = cn+1;
        parada=1;
        break
    end%3
end%2 if
    while((parada==0)&&(s(i+k)~=s(L+k)))
        if(k>kmax) %4
            kmax=k;
        end %4
        i = i+1;
        if (i==L)
            cn= cn+1;
            L=L+kmax;
            fla=1;
            break;
        else
            k=1;
        end
    end %while
end %while
cn
h;
deltaq=1;
t=0;
if (r==1)
    disp('entrada de dados');
    lim_inferior=input('digite o limite inferior do q');

```

```

passo=input('digite o passo');
for deltaq=lim_inferior:passo:q
    t=t+1;
    if(deltaq==1)
        h=(-1/log(N))*((s1*ps1*log(ps1)) + (s2*ps2*log(ps2)));
    else
        h = (1/(deltaq-1))*(1-(ps1^deltaq +ps2^deltaq));
    end
    bn=(h*N)/(log2(N));%calcula bn para normlizar a complexidade
    ra(t)=cn/bn;
    DT(t)=deltaq;
end
deltaq
plot(DT,ra)
else
bn=(h*N)/(log2(N))%calcula bn para normlizar a complexidade
end
Cn=cn/bn%complexidade normalizada
fprintf('.')
fprintf('\n*')
end

```