

## DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DA EQUAÇÃO DE BRUNT UTILIZANDO ALGORITMO GENÉTICO

THIAGO R. RODRIGUES<sup>1</sup>, THIAGO M. VENTURA<sup>2</sup>, ALLAN G. OLIVEIRA<sup>2</sup>, LEONE  
F. A. CURADO<sup>3</sup>, JONATHAN W. Z. NOVAIS<sup>3</sup>, JOSIEL M. FIGUEIREDO<sup>4</sup>, CLAUDIA  
A. MARTINS<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Licenciado em Física, Mestrando, Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Instituto de Física, UFMT, Cuiabá - MT, Fone:  
(65) 3615 8738, thiagorangel@pgfa.ufmt.br

<sup>2</sup> Cientista da Computação, Mestrando, Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Instituto de Física, UFMT, Cuiabá - MT

<sup>3</sup> Licenciado em Física, Mestrando, Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Instituto de Física, UFMT, Cuiabá - MT

<sup>4</sup> Cientista da Computação, Prof. Adjunto, Instituto de Computação, UFMT, Cuiabá - MT.

Apresentado no XVII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 18 a 21 de Julho de  
2011 – SESC Centro de Turismo de Guarapari, Guarapari – ES

**Resumo.** Pesquisas envolvendo o balanço de ondas longas têm-se intensificado a fim de que se conheça o comportamento ambiental das variáveis micrometeorológicas. No presente trabalho buscou implementar um algoritmo da área de inteligência artificial para determinar os parâmetros da equação de Brunt de um determinado local. Para testar o algoritmo, o mesmo foi utilizado para determinar os parâmetros do pantanal mato-grossense. Os resultados obtidos mostraram que os valores estimados através do algoritmo utilizado aproximaram dos valores obtidos com os dados coletados no local, mostrando a eficiência do programa criado.

**Palavras-chave:** algoritmo genético, equação de brunt, pantanal mato-grossense.

## DETERMINATION OF BRUNT'S EQUATION PARAMETERS USING GENETIC ALGORITHM

**Abstract.** Research involving the long wave balance have been intensified in order to know the environmental performance of micrometeorological variables. In this study we sought to implement an algorithm in the field of artificial intelligence to determine the parameters of the equation brunt of a particular location. To test the algorithm, it was used to determine the parameters of the Pantanal of Mato Grosso. The results showed that the values estimated by the algorithm used approached the values obtained with data collected on site, showing the efficiency of the algorithm created.

**Keywords:** genetic algorithm, equation brunt, Pantanal of Mato Grosso.

### 1. Introdução

O fluxo de radiação de onda longa proveniente da atmosfera é uma componente da troca radiativa no nível da superfície e do balanço de radiação. O balanço de ondas longas é importante na determinação da troca de energia no período noturno, mas por outro lado, o saldo de radiação total é importante na determinação da troca de energia durante o dia, quando ocorre a maior parte da evapotranspiração. (VON RANDOW & AVALÁ, 2006).

A radiação de onda longa proveniente da atmosfera é uma componente do balanço de radiação difícil de ser medida. Embora haja instrumentos para sua medida, esses emitem radiação em comprimentos de onda e intensidade comparáveis àquelas da suposta medida, o que interfere no resultado. Não obstante, é possível estimar a radiação de onda longa através de variáveis mais facilmente medidas (BRUTSAERT, 1982), ou mesmo por diferença, através da equação do balanço de radiação (MANZI et al., 1986;; FEITOSA, 1996).

Segundo a Lei de Stefan-Boltzmann a energia emitida por uma superfície natural depende da sua temperatura e de sua emissividade. Uma dificuldade é que essa emissão interage com a atmosfera. Assim uma alternativa para a maior compreensão da emissão de onda longa é estudar quais os elementos atmosféricos que mais interagem com a radiação terrestre. Então, Brunt desenvolveu uma equação para estimar a radiação de onda longa usando a pressão de vapor d'água e parâmetros empíricos ajustado para o local estudado.

Há várias formas de determinar tais parâmetros. Neste trabalho foi utilizada uma técnica de inteligência artificial chamada Algoritmo Genético no qual utilizando dados coletados no local estudado foi possível determinar os parâmetros a e b da equação de Brunt.

## 2. Materiais e Método

O método utilizado neste trabalho foi o modelo de Brunt (Equação 1) e a equação padrão do balanço de radiação (Equação 4). Pelo modelo de Brunt tem-se que:

$$\text{Equação 1: } L_d = \sigma T_a^4 (a + be^{\frac{1}{2}})$$

Sendo  $L_d$  a radiação de onda longa proveniente da atmosfera ( $\text{W.m}^{-2}$ ),  $\sigma$  a constante de Stefan-Boltzmann ( $5,67 \cdot 10^{-8} \text{W.m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$ ),  $T_a$  a temperatura absoluta da atmosfera (K),  $e$  é a pressão de vapor d'água e a e b são parâmetros de ajuste para o local estudado.

Pela Lei de Stefan-Boltzmann a emissividade de uma superfície, que revela a quantidade de energia que a superfície emite em relação àquela que ela absorve, ou seja, o poder emissivo da superfície pode ser dado por:

$$\text{Equação 2: } \epsilon = \frac{R}{\sigma T^4}$$

Em que R é a radiação emitida pela superfície e  $\epsilon$  é a emissividade da superfície em questão. Assim para a equação de Brunt, analogamente a Lei de Stefan-Boltzmann, tem-se a emissividade atmosférica local ( $\epsilon_a$ ) como sendo:

$$\text{Equação 3: } \epsilon_a = \frac{L_d}{\sigma T_a^4} = a + be^{\frac{1}{2}}$$

A alternativa para se calcular os parâmetros a e b da equação de Brunt neste trabalho foi utilizar dados medidos no local de estudo, para isso utilizou-se os dados dos componentes da equação padrão do balanço de radiação:

$$\text{Equação 4: } R_n = R_g(1 - \alpha) + \epsilon_a \sigma T_a^4 - \sigma T_s^4$$

Em que  $R_n$  é o balanço de radiação,  $R_g$  é a radiação global incidente na superfície,  $\alpha$  é o albedo da superfície, ou seja, a quantidade de radiação global refletida pela superfície e  $T_s$  é a temperatura da superfície.

Da mesma forma para encontrar a emissividade na equação de Brunt, para a Equação 4 tem-se:

$$\text{Equação 5: } \epsilon_a = \frac{R_n - R_g(1 - \alpha) + \sigma T_s^4}{\sigma T_a^4}$$

Utilizando as equações 3 e 5 podemos obter uma relação entre os parâmetros a e b da equação de Brunt com os componentes do balanço de radiação. Assim:

$$\text{Equação 6: } a + be^{\frac{1}{2}} = \frac{R_n - R_g(1 - \alpha) + \sigma T_s^4}{\sigma T_a^4}$$

A Equação 6 nos mostra uma alternativa de estimar os parâmetros a e b da equação de Brunt através de dados coletados no local.

Um algoritmo genético (AG) uma técnica computacional utilizada para achar soluções aproximadas em problemas de busca e otimização (Golberg, 1989). De acordo com Michalewicz (1994), o princípio básico de algoritmos genéticos consiste em fazer evoluir um conjunto de soluções iniciais para uma solução ótima. Ele inicia selecionando aleatoriamente certo número de indivíduos dentro do espaço de busca. Estes são avaliados em relação à capacidade de resolver o problema, e essa capacidade é expressa numericamente pela avaliação do indivíduo, através de uma função objetivo. Com base nesta informação (aptidão dos indivíduos), uma nova população é formada através do uso de operadores probabilísticos de seleção. No final, o indivíduo que está mais apto a resolver o problema é considerado a solução.

Neste trabalho, um indivíduo no algoritmo genético foi composto dos valores dos parâmetros  $a$  e  $b$  em sua forma binária. Foram reservados 10 bits para cada parâmetro possibilitando que os valores dos parâmetros estejam em um intervalo de 0 a 1,023. Seguindo esta regra, foram criados 60 indivíduos de forma aleatória para iniciar a população.

Através de dados obtidos pela Equação 4 igualado com a Equação 1, o algoritmo tinha o conhecimento de quanto deveria resultar a expressão. Com esta informação, cada indivíduo da população foi analisado para verificar qual o resultado da expressão anterior com os valores dos parâmetros do indivíduo. A diferença do resultado real (RR) com o resultado calculado (RC) foi o erro do respectivo indivíduo. Esse processo é a função objetivo deste problema, no qual quanto menor o erro ( $e$ ) mais apto é o indivíduo como solução do problema:

$$\text{Equação 7: } e = |RR - RC|$$

Depois que a população inteira era avaliada, se fazia uma avaliação para verificar se o erro encontrado era aceitável. Caso contrário, uma nova geração era gerada. Para criar novas gerações, primeiramente, eram propagados cerca de 50% dos melhores indivíduos da população anterior (de acordo com a função objetivo). Depois, esses mesmos indivíduos sofriam cruzamentos para gerar novos indivíduos. A parte da população que não era selecionada para os cruzamentos eram desprezadas.

Por fim, os indivíduos da nova geração tinham uma probabilidade de 10% de sofrerem mutação genética. Caso o indivíduo fosse selecionado para sofrer mutação, era sorteado um bit de sua estrutura para ser invertido.

O objetivo de todas essas operações é chegar a pelo menos um indivíduo que tivesse uma avaliação aceitável, onde o seu conteúdo seria os melhores valores que representassem os parâmetros  $a$  e  $b$  desejado.

### 3. Resultados e Discussão

Para verificar a eficiência do AG criado, foi feito um estudo de caso para determinar os parâmetros  $a$  e  $b$  de uma área localizada no pantanal mato-grossense, mais precisamente na Reserva Particular do Patrimônio Natural - RPPN SESC – Pantanal, município de Barão de Melgaço – MT, distante 160 km de Cuiabá – MT em que estava instalada uma torre micrometeorológica de 32 m de altura (16°39'50''S; 56°47'50''O) e altitude de 120 m. Esta área apresenta vegetação monodominante de Cambará (*Vochysia divergens*, Phol), conhecido localmente como cambarazal, com altura do dossel variando entre 28 a 30 m.

Foram feitas estimativas dos parâmetros da equação de Brunt para dois períodos sazonais. A justificativa para que fosse feito uma estimativa para cada período é que já se tinha a hipótese, através de outros estudos para o local considerado, que os valores dos parâmetros

a e b seriam diferentes para cada período em função da diferença pluviométrica entre os dois períodos remetendo numa variabilidade sazonal dos componentes atmosféricos.

Para este estudo foram coletados dados do saldo de radiação, radiação global, temperatura do solo, temperatura do ar e umidade relativa. Os valores dos parâmetros a e b estimados com o algoritmo utilizado foram respectivamente 0,71 e 0,06 para o período chuvoso. Von Randow & Avalá (2006) encontraram os valores de 1,085 e -0,053 para a e b respectivamente no Pantanal sul Mato-Grossense para o ano de 1999 e 1,339 e -0,094 para o ano de 2000, o que é um indicativo que há diferença entre a região norte e sul do Pantanal no que se refere ao balanço de ondas longas.

O valor médio referente ao lado direito da Equação 6 para o período chuvoso usando os dados medidos no local foi de 1,01 e usando os valores dos parâmetros a e b encontrados pela estimativa proposta foi de 0,99 o que remete uma sub-estimativa média de aproximadamente 2% para esse período o que mostra uma eficácia significativa do método utilizado para a determinação dos respectivos parâmetros.

No período seco os valores de a e de b encontrados foram respectivamente 0,73 e 0,03. Nesse período, o valor médio da emissividade atmosférica calculado através da Equação 5 usando os dados obtidos no local foi de 0,87 e os obtidos pela Equação 3 utilizando os valores de a e b para essa estação foi de 0,85 que também remete a uma sub-estimativa de aproximadamente 2% o que também, assim como no período chuvoso, mostra uma eficácia significativa do método utilizado para a determinação dos respectivos parâmetros.

Na Figura 1 é mostrado como se comportou o erro na estimativa dos valores de a e b para as duas estações. Para a estação chuvosa o algoritmo genético precisou de 13 gerações para alcançar um erro aceitável, já para a estação seca foram necessárias 17 gerações. O número de gerações pode mudar dependendo dos dados coletados, mas o importante é estabelecer o erro aceitável de quando o programa deve parar e um número máximo de gerações para que o programa saiba quando deve parar e informar ao pesquisador que o problema em questão provavelmente não encontra uma solução com o erro mínimo desejado. Através da figura fica clara a tendência do algoritmo em convergir para a solução ótima o que representa que os valores estimados são os que apresentaram o menor erro possível para o algoritmo utilizado.

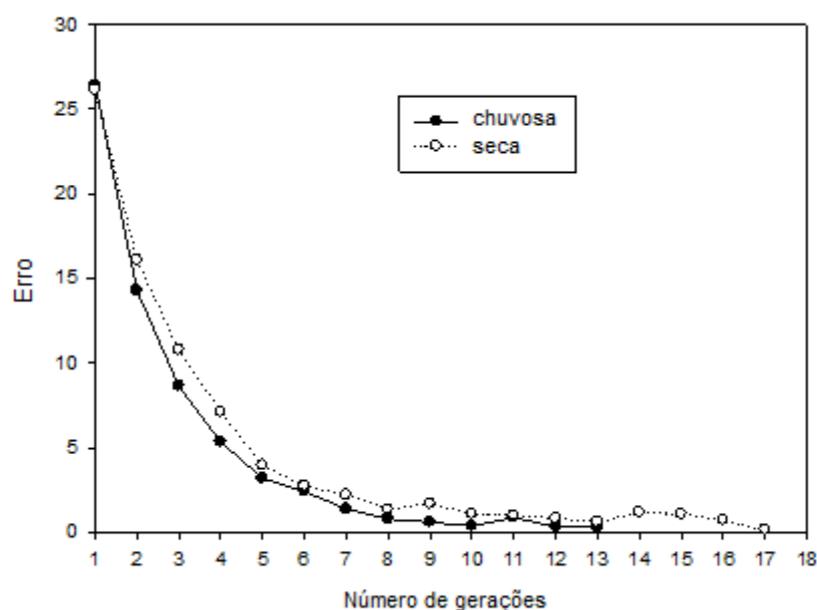


Figura 1. Evolução do erro em cada geração nas duas estações

Quanto aos resultados obtidos com as estimativas dos valores dos parâmetros a e b, calculou-se os desvios padrão dos resultados do lado direito da Equação 6 utilizando os valores determinados de a e b para cada período. O desvio padrão encontrado para o período chuvoso foi de 0,024 e para o período seco de 0,015 o que representa um resultado satisfatório para os valores estimados.

Utilizando os valores dos parâmetros a e b obtidos para cada período pode-se reescrever a equação de Brunt para o local estudado. De acordo com a Equação 1, a radiação de onda longa proveniente da atmosfera para o norte do Pantanal Mato-grossense é:

$$\text{Equação 8 (estação chuvosa): } L_d = \sigma T_a^4 (0,71 + 0,06e^{\frac{1}{2}})$$

$$\text{Equação 9 (estação seca): } L_d = \sigma T_a^4 (0,73 + 0,03e^{\frac{1}{2}})$$

#### 4. Conclusões

O método utilizado mostrou-se ser uma ferramenta alternativa para estimar o balanço de ondas longas, utilizando dados da temperatura e umidade relativa. Como prova, foi adequada a equação de Brunt para o norte do Pantanal Mato-grossense usando os parâmetros encontrados para o local que, por sua vez, mostraram-se consistentes por terem sido testados com valores das variáveis medidas no local e por apresentarem diferenças entre a emissividade atmosférica obtida com os dados locais e a emissividade atmosférica calculada através da equação de Brunt de aproximadamente 2% no período chuvoso e também no período seco.

Com este trabalho, foi avaliado que o uso de algoritmo genético traz grandes vantagens em resolver esse tipo de problema. O seu desempenho teve uma boa precisão nos resultados ao mesmo tempo em que teve uma boa velocidade em encontrar a solução, já que foram necessárias poucas gerações para encontrar uma resposta válida.

#### 5. Agradecimentos

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro, ao Programa de Pós Graduação em Física Ambiental (PPGFA) e ao Instituto de Computação (IC) da Universidade Federal de Mato Grosso pelo incentivo a pesquisa.

#### Referências

- Feitosa, J.R.P. Balanço de energia e evapotranspiração em áreas de pastagem e de floresta densa na Amazônia central. Campina Grande:UFPB, 1996. 95p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal da Paraíba, Paraíba, 1996.
- Goldberg, David E.. Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning. EUA: Addison-Wesley, 1989.
- Manzi, A.O.; Viswanadam, Y.; Sá, L.D.A.; André, R.G.B. Um estudo sobre o balanço de radiação da floresta Amazônica. São José dos Campos:INPE, 1986. (INPE-3956-PRE/974), Julho.
- Michalewicz, Z. Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs. Springer-Verlag, New York, 1994.
- Von Randow, R. C. S. & Avalá, R. C. S. Estimativa da radiação de onda longa atmosférica no Pantanal Sul Mato-Grossense durante os períodos secos de 1999 e 2000. Revista Brasileira de Meteorologia, v.21, n.3b, 398-412, 2006.