

# PRODUÇÃO DE ÁGUA A PARTIR DO RESFRIAMENTO DO AR

GENIVAL DA SILVA<sup>1</sup>, FRANCISCO DE A. S. DE SOUSA<sup>2</sup>

1 Lic. Física, Prof. Titular, Depto. de Física, Centro de Ciências e Tecnologia, UEPB, Campina Grande – PB, Fone: (0xx83) 3315 3338, professorgenival@uepb.edu.br, 2 Meteorologista, Prof. Doutor, Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas, CTRN/UFCCG, Campina Grande – PB.

Apresentado no XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 02 a 05 de julho de 2007 – Aracaju – SE

**RESUMO:** Pesquisas realizadas nos municípios paraibanos de Campina Grande e São João do Cariri têm mostrado a possibilidade da produção de água potável a partir da formação do orvalho em superfícies refrigeradas. Os resultados experimentais aqui apresentados mostram que o resfriamento do ar pode produzir quantidades suficientes de água para minimizar as consequências da escassez de água potável na região Semi-árida do Nordeste brasileiro. O experimento baseado no contato direto do ar com superfícies frias de garrafas PET produziu orvalho a uma taxa diária de 11 litros por metro quadrado. Os resultados obtidos são satisfatórios, considerando-se que o equipamento experimental utilizado é bastante simples.

**PALAVRAS-CHAVE:** água potável, orvalho, vapor d'água

## WATER PRODUCTION BY AIR COOLING

**ABSTRACT:** Researches carried in Campina Grande and São João do Cariri cities have shown the possibility of the production of drinking water by the formation of the dew on cold surfaces. The experimental results presented here show that the cooling of air can produce enough quantity of water to minimize the consequences of shortage of drinking water in the semiarid zone of Brazilian Northeast region. The experiment based on direct contact between the air and the cold surface of PET bottles has produced dew at a rate of 11 liters per day per square meter. The obtained results are satisfactory, considering that the experimental equipment used is sufficiently simple.

**KEYWORDS:** drinking water, dew, water vapor.

**INTRODUÇÃO:** O Nordeste brasileiro situado aproximadamente entre as latitudes de 1 e 18° S e longitudes de 34 e 48° W, possui uma grande diversidade climática. Pode-se encontrar desde clima semi-árido com chuvas anuais abaixo de 500 mm, no interior da região, até clima tropical chuvoso, na costa Leste e no Norte do Maranhão, com totais anuais precipitados acima de 1.600 mm. Rao et al (1996) apud Nóbrega (2003). A Paraíba, com 1.320 m<sup>3</sup>.hab<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, é o Estado Brasileiro que possui o segundo menor potencial hídrico do país, sendo superado apenas pelo estado de Pernambuco com um potencial hídrico de 1.171 m<sup>3</sup> hab<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> (Sousa e Leite, 2003). Mesmo sendo de clima semi-árido, o interior do Estado da Paraíba apresenta em sua climatologia umidade específica que atinge valores consideráveis (superiores a 15 g kg<sup>-1</sup>). Isto se deve principalmente ao transporte de vapor d'água do oceano para o continente, feito pela circulação geral da atmosfera predominantemente de Sudeste.

Neste estudo propõe-se a produção de água, por meio do orvalho, a partir do resfriamento do ar, com base no teor de vapor d'água existente e nas baixas temperaturas atingidas durante o período noturno. Numa perspectiva de se encontrar meios de se obter água para consumo humano, este trabalho tem como objetivos o estudo da viabilidade da produção de água potável a partir do resfriamento do ar na região do Cariri Paraibano e a análise da relação volume produzido versus custo de produção. Este primeiro estudo foi efetuado para os municípios de Campina Grande e São João do Cariri.

**MATEIAL E MÉTODOS: Área de estudo** - O interior da região Nordeste do Brasil, denominada Polígono das Secas, apresenta clima semi-árido, cuja precipitação média anual é cerca de 500 mm. Com relação aos recursos hídricos à superfície, predomina os rios intermitentes que escoam apenas no curto período chuvoso. Em consequência dessas características a população da região é bastante penalizada pela falta de água, principalmente a potável. Essa situação torna-se mais crítica durante os longos períodos de estiagens, bastante comuns na região. Os municípios paraibanos de Campina Grande e São João do Cariri, locais em que foram realizados os primeiros experimentos desta pesquisa, estão situados no semi-árido paraibano. Em Campina Grande, os experimentos foram realizados na estação meteorológica da Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas – UACA, localizada no Campus I da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG (7°12'52" S; 35°54'27"W; 525 m). Em São João do Cariri, o local escolhido foi o Sítio Farias (7°27'48" S; 36°30'32" W; 492 m). A Tabela 1 exibe os dados climáticos referentes à temperatura e à umidade relativa do ar de quatro municípios paraibanos, todos localizados na região semi-árida. Pode ser notado que os valores médios anuais de umidade relativa e de temperatura do ar são semelhantes. Tabela 1. Dados climatológicos (médias anuais) dos municípios de Campina Grande, Monteiro, São João do Cariri e Soledade, localizados na região semi-árida do Cariri Paraibano. Fonte: UACA/ UFCG.

Municípios	Temperatura (°C)			Umidade Relativa (%)		
	Máx.	Mín.	Média	12:00	18:00	24:00
C. Grande	29,0	19,1	22,7	84,3	57,4	87,2
Monteiro	30,5	19,0	23,3	72,5	57,6	84,1
São J. do Cariri	30,8	19,5	24,0	78,8	57,5	84,7
Soledade	29,3	18,9	24,2	79,5	57,6	82,9

**Cálculos meteorológicos e termodinâmicos** - A quantidade de vapor d'água presente na atmosfera é determinada a partir da pressão real do vapor ( $e$ ) e da pressão atmosférica ( $p$ ). A massa de vapor d'água por unidade de massa de ar úmido, ou seja a umidade específica ( $q$ ), é calculada por:

$$(1) \quad q = \frac{622e}{p-0,378e}$$

em que, neste caso,  $q$  é expressa em g/kg, ( $e$ ) e ( $p$ ) devem ser expressas nas mesmas unidades de pressão, em geral, hPa.

Determina-se ( $e$ ) a partir da umidade relativa do ar (UR) e da pressão de saturação do vapor d'água ( $e_s$ ), que são relacionados por:

$$(2) \quad UR = \frac{e}{e_s} \times 100$$

em que UR é expressa em percentagem (%).

A quantidade máxima de vapor d'água presente na atmosfera é função da temperatura do ar. Ao atingir o valor máximo, para uma dada temperatura, a pressão real de vapor ( $e$ ) atinge seu valor máximo ( $e_s$ ) e o ar torna-se saturado. O valor de  $e_s$  para a temperatura do ar T pode ser calculado a partir da equação de Tetens (Vianello e Alves, 2004), como segue:

$$(3) \quad e_s = 6,1078 \times 10^{\left(\frac{7,5T}{237,3+T}\right)}$$

em que  $e_s$  é dado em mb e T em °C.

A estimativa da massa de orvalho condensada (em  $\text{kg m}^{-3}$ ), quando o ar é resfriado de uma temperatura T até  $T_s$ , é calculada por (Iribarne, 1985):

$$(4) \quad \Delta m = -\frac{\Delta e_s}{R_v T}$$

Sendo  $R_v$  a constante específica do vapor ( $461,5 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ), T a temperatura do ar (em Kelvin) e  $\Delta e_s$  a diferença das pressões de vapor à saturação nas temperaturas T e  $T_s$ .

**Aparato experimental** - O aparato foi construído de forma que o custo fosse o menor possível, sem prejuízo experimental, ou seja, que com ele se obtivesse resultados satisfatórios a fim de que a viabilidade de futuras pesquisas sobre o tema fosse mantida (Silva, 2007). Na Figura 1 podem ser vistos os instrumentos usados para efetuar as medições da temperatura do ar, umidade relativa do ar, pressão atmosférica, massa de orvalho produzida e temperatura da superfície de condensação. Como superfícies condensadoras de vapor d'água foram utilizadas três garrafas PET (Polietileno Tereftalato), cada uma com capacidade de 2,5 litros e cuja área da superfície lateral é de aproximadamente  $0,1 \text{ m}^2$ .

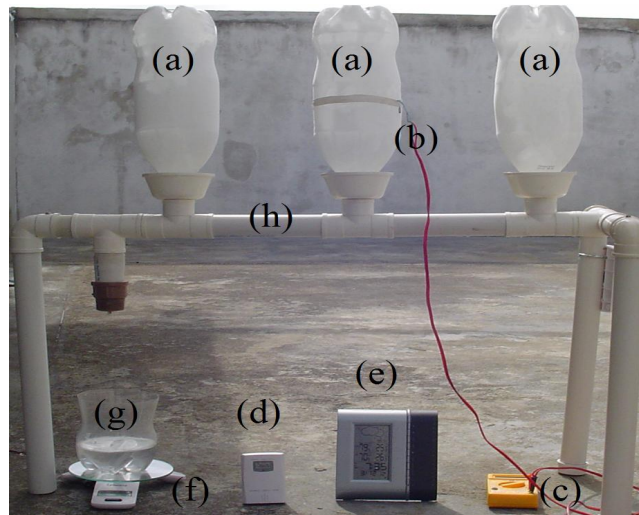


Figura 1. Montagem experimental: (a) garrafas PET; (b) termistor; (c) multímetro digital; (d) e (e) medidores de temperatura do ar, umidade relativa do ar e pressão atmosférica; (f) balança digital; (g) recipiente coletor de orvalho; (h) tubos de PVC.

O volume de orvalho formado é relacionado principalmente à umidade relativa do ar, temperatura do ar, temperatura da superfície do condensador e velocidade do vento. O resfriamento das garrafas PET é feito a partir do congelamento da massa de água contida nas mesmas com o uso de um freezer. As garrafas PET contendo gelo são posicionadas sobre o suporte, expostas ao ar, ocorrendo a condensação do vapor d'água sobre as mesmas. As medidas da massa de água condensada, inicialmente feitas com o uso de uma balança digital com precisão de um grama, passaram a ser obtidas automaticamente com a inclusão de uma balsa no experimento, que envia os dados lidos a um computador via porta paralela. Para se efetuar as medições da temperatura da superfície de condensação foram utilizados termistores do tipo NTC acoplados a um multímetro digital. A equação da curva de calibração, foi obtida a partir de uma regressão logarítmica, é dada por:

$$(9) \quad T = -25,158 \times \ln R + 82,421$$

Nos experimentos realizados na Estação Meteorológica da UACA/UFCEG, foram feitas apenas medidas da massa de orvalho e da resistência elétrica dos termistores, já que os demais dados meteorológicos foram obtidos da própria estação.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** A Figura 2 mostra os resultados experimentais, obtidos em ambiente aberto, no dia 27/05/2006, na localidade Sítio Farias, situada a aproximadamente 12 quilômetros da cidade de São João do Cariri – PB, região do Cariri Paraibano. A presença do vento e a alta umidade específica do ar foram fatores que influenciaram sobremaneira na obtenção desses resultados.

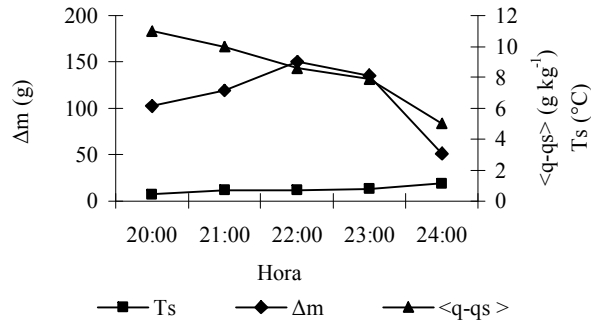


Figura 2. Temperatura da superfície de condensação ( $T_s$ ), diferença média entre as umidades específicas  $\langle q - q_s \rangle$ , e a massa de orvalho produzida ( $\Delta m$ ), em 27/05/2006, no Sítio Farias, em São João do Cariri.

As Figuras 3 e 4 mostram os valores das massas de orvalho produzidas em experiências realizadas na estação meteorológica da UACA/UFCEG, nos dias 13 e 21/12/2006. A diferença no intervalo de tempo em que ocorreu a condensação está relacionada com uma maior intensidade do vento, verificada no dia 13/12/2006.

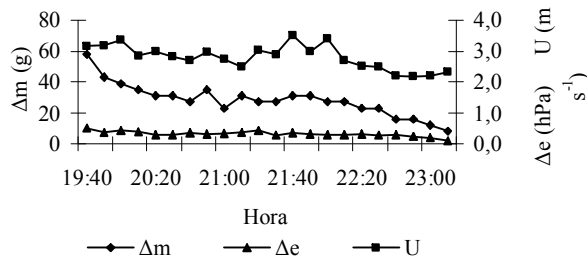


Figura 3. Valores da massa de orvalho ( $\Delta m$ ), da diferença de pressões de vapor ( $\Delta e$ ) e da velocidade do vento a um metro de altura da superfície, obtidos no experimento realizado na estação meteorológica da UACA/UFCEG, em 13/12/2006.

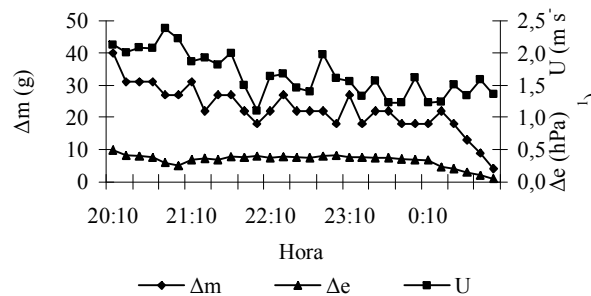


Figura 4. Valores da massa de orvalho ( $\Delta m$ ), da diferença entre as pressões de vapor ( $\Delta e$ ) e da velocidade do vento a um metro de altura da superfície, obtidos no experimento realizado na estação meteorológica da UACA/UFCG, em 21/12/2006.

A velocidade do vento e a diferença entre as pressões parciais de vapor d'água à temperaturas do ar e da superfície de condensação são fatores que determinam a quantidade de orvalho produzida. Mantendo-se a temperatura da superfície das garrafas PET em torno de 12 °C, sob condições meteorológicas semelhantes as do dia 27/05/2006, é possível a obtenção diária de 11 litros de água por metro quadrado de superfície refrigerada.

**CONCLUSÕES:** 1. Utilizando superfícies refrigeradas com temperaturas em torno de 12°C, a produção média diária de orvalho foi de 11 litros por metro quadrado. 2. Se forem utilizados equipamentos mais eficientes e fontes de energia alternativas (solar e eólica), é possível produzir água potável em quantidade considerável a partir da condensação da umidade do ar. Essa metodologia poderá ser mais uma fonte alternativa de oferta de água para os habitantes da região semi-árida do Nordeste brasileiro.

#### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:**

- Iribarne, J. V. Atmospheric thermodynamics. 2.ed. rev. Dordrecht: D. Reidel Publishing Company, 1985. p.77 e 122.
- Nóbrega, R. S. Aspectos climáticos da reciclagem do vapor d'água sobre o Brasil. 2003. 90 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, maio 2004.
- Silva, G. Condensação da umidade atmosférica: um estudo da viabilidade da produção de orvalho por resfriamento do ar nos municípios paraibanos de Campina Grande e São João do Cariri. 2007. 66 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, 2007.
- Sousa, J. T., Leite, V. D. Tratamento e Utilização de Esgostos Domésticos na Agricultura. 2. ed. Campina Grande: EDUEPB, 2003. p.21-22.
- Vianello, R. L.; Alves, A. R. Meteorologia básica e aplicações. 1.ed. Viçosa: UFV, 2004. p.58 e 72.