



## **Estimativa da disponibilidade hídrica na atmosfera de Monteiro - PB**

**Genival da Silva<sup>1</sup>, Francisco de Assis Salviano de Sousa<sup>2</sup>, Lindenberg Lucena da Silva<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Universidade Federal de Campina Grande – UFCG ([professorgenival@yahoo.com.br](mailto:professorgenival@yahoo.com.br))

<sup>2</sup> Universidade Federal de Campina Grande – UFCG ([fassis@dca.ufcg.edu.br](mailto:fassis@dca.ufcg.edu.br))

<sup>3</sup> Secretaria de Recursos Hídricos de Pernambuco – SRH/PE ([begapb@gmail.com](mailto:begapb@gmail.com))

### **Resumo**

Este trabalho tem como objetivo estimar o volume de água sob a forma de vapor contida na atmosfera do município de Monteiro – PB, que atravessa uma superfície perpendicular à direção do vento no período noturno. A estimativa foi feita a partir da umidade relativa, temperatura do ar, da velocidade do vento e da pressão atmosférica. O volume estimado de  $196 \text{ L.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$  corresponde a aproximadamente 39.000 litros de água, em uma noite, que atravessa uma superfície de  $20 \text{ m}^2$  de área (área transversal de uma residência típica da região do Cariri Paraibano). A condensação de apenas 1% desse volume é suficiente para abastecer com água potável uma residência com quatro pessoas.

Palavras-chave: vapor, umidade relativa, água potável.

Área Temática: 3. Recursos hídricos.

### **Abstract**

*This study aims to estimate the volume of water in the form of vapor in the atmosphere of the city of Monteiro - PB, across a surface perpendicular to the direction of the wind at night. The estimation was made from the relative humidity, air temperature, wind speed and atmospheric pressure. The estimated volume of  $196 \text{ L.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$  corresponds to about 39,000 liters of water in one night through an area of  $20 \text{ m}^2$  area (area of a typical residence of the Cariri region in Paraíba). The condensation of 1% of this volume is enough to supply drinking water to a household with four people.*

*Key words: Vapor, relative humidity, drinking water.*

*Theme Area: 3. Water resources.*



## 1 Introdução

Entre os recursos naturais mais importantes para a existência da vida em nosso planeta estão as reservas de água. O semiárido brasileiro, presente em todos os estados nordestinos e parte dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo, apresenta o menor índice de disponibilidade hídrica do País. Isso se deve principalmente aos baixos índices pluviométricos e aos baixos volumes dos lençóis de águas subterrâneas além do seu alto teor de salinidade. Os menores índices de precipitação no Brasil ocorre nos municípios paraibanos de Cabaceiras, com uma precipitação média anual de 300 mm, e São João do Cariri cuja precipitação média anual não ultrapassa os 400 mm.

O Brasil possui cerca de 12% das reservas de água doce disponível nas bacias hidrográficas do Planeta. Mesmo com todo esse potencial hídrico, o interior do Nordeste Brasileiro, mais precisamente a região semiárida, sofre permanentemente com a escassez hídrica. Dentre os estados brasileiros, a Paraíba, com  $1.320 \text{ m}^3 \cdot \text{hab}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ , é o que possui o segundo menor potencial hídrico do País, superado apenas pelo estado de Pernambuco, com um potencial hídrico de  $1.171 \text{ m}^3 \text{ hab}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  (SOUSA & LEITE, 2003).

O semiárido paraibano é caracterizado por baixas médias pluviométricas, altos índices de evapotranspiração, e ocorrências de chuvas em um período muito curto do ano com uma distribuição temporal e espacial bastante irregular. As variações pluviométricas na região Nordeste estão entre os efeitos mais evidentes do El Niño Oscilação Sul (ENOS) que, efetivamente, devem receber maior destaque, pois delas dependem, praticamente, todas as atividades desenvolvidas no meio rural, com influência direta na economia do semi-árido (Moraes Neto et al., 2007).

Apesar dessa alta escassez hídrica presente na maioria dos municípios paraibanos, verifica-se a presença de uma expressiva massa de vapor de água presente na atmosfera. O vapor de água contido na atmosfera dos municípios do Cariri Paraibano se deve principalmente ao transporte dessas massas de vapor produzido no Oceano Atlântico e transportado para o continente pelas correntes de ventos predominantemente de Sudeste. Conforme pesquisas em andamento na região do Semiárido paraibano, o vapor de água pode ser condensado e utilizado como fonte auxiliar de água para o consumo humano.

O objetivo deste trabalho é estimar o volume de água que atravessa uma superfície perpendicular a direção do vento, por unidade de área em uma noite, no município de Monteiro – PB ( $7^\circ 53' \text{S}$ ,  $37^\circ 07' \text{W}$ , 600m), localizado na microrregião do Cariri paraibano.

## 2 Metodologia

O interior da região Nordeste do Brasil, denominado Polígono das Secas, apresenta clima semi-árido, cuja precipitação média anual é cerca de 500 mm. Com relação aos recursos hídricos à superfície, predominam 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 da potável, situação que se torna mais crítica durante os longos períodos de estiagens, bastante comuns. Os municípios paraibanos de Campina Grande e São João do Cariri (Figura 1), locais em que foram realizados os primeiros experimentos desta pesquisa, estão situados no semiárido paraibano. O município de Monteiro cuja localização é mostrada na Figura 1(c) foi o local escolhido para esta pesquisa por dispor de dados meteorológicos do INIMET.

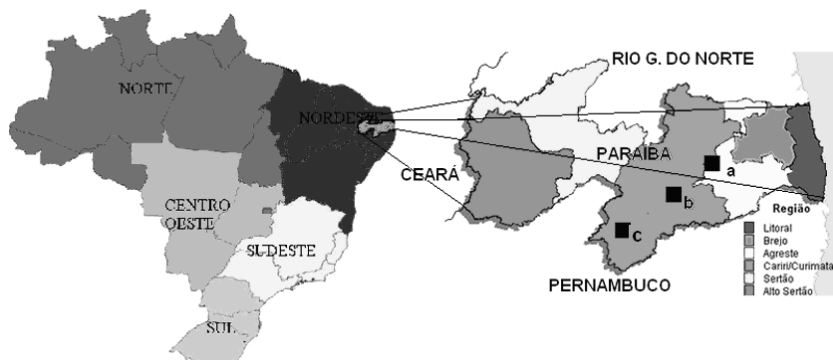


Figura 1. Regiões climáticas do estado Paraíba e localização de Campina Grande (a), São João do Cariri (b) e Monteiro (c).

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-se notar 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 semiárida do Cariri Paraibano.

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
S. 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

Fonte: UFCG/UACA

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 que corresponde à umidade específica ( $q$ ) é calculada por:

$$q = \frac{622e}{p - 0,378e}$$

em que, neste caso, ( $q$ ) é expressa em  $\text{g kg}^{-1}$ , ( $e$ ) e ( $p$ ) devem ser expressas nas mesmas unidades de pressão, em geral, kPa.

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:

$$UR = \frac{e}{e_s} \times 100$$

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 dada temperatura, a pressão real de vapor ( $e$ ) atinge seu valor máximo ( $e_s$ ) e o ar se torna saturado. O valor de  $e_s$  para a temperatura do ar  $T$ , pode ser calculado a partir da equação de Tetens (VIANELLO & ALVES, 2004), como segue:

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

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



A massa de vapor por unidade de volume de ar  $\rho_v$  (em  $\text{g m}^{-3}$ ), também denominada de umidade absoluta, é calculada por (IRIBARNE, 1985):

$$\rho_v = \frac{1000.e}{R_v T}$$

sendo ( $R_v$ ) a constante específica do vapor ( $461,5 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ), ( $T$ ) a temperatura do ar (em Kelvin) e ( $e$ ) a pressão real (em Pa).

O volume de orvalho formado é relacionado, sobretudo com umidade relativa, temperatura do ar, temperatura da superfície de condensação e velocidade do vento. Nas primeiras experiências desta pesquisa se optou por realizar medidas de temperatura do ar, umidade relativa do ar, pressão atmosférica e temperatura da superfície de condensação, o que fez com que houvesse redução no número de instrumentos utilizados na montagem experimental. No decorrer dos trabalhos, algumas experiências foram realizadas na estação meteorológica da UACA/UFCG onde também se obtiveram medidas da velocidade do vento, visto que sua presença é fator de grande influência no transporte de vapor d'água e, portanto, no volume de orvalho produzido.

A massa de vapor de água ( $M$ ) que atravessa uma superfície de área ( $A$ ) perpendicular a direção do vento com velocidade ( $v$ ), em um intervalo de tempo  $\Delta t$ , é estimada por:

$$m = \rho_v . v . A . \Delta t .$$

A Tabela 2 mostra dados meteorológicos do município de Monteiro-PB utilizados na estimativa da massa de vapor de água naquele município nos meses de novembro e dezembro de 2009. Os valores correspondem às médias referentes aos horários diários das 20h00min às 06h00min (dez horas por noite). Foram escolhidos esses meses por corresponderem aos últimos meses do período de estiagem na região em que se verifica a maior escassez de água.

Tabela 2 – Dados meteorológicos do município de Monteiro-PB.

Mês/ano	T (°C)	UR (%)	P (hPa)	v (m/s)	Dir (°)	Chuva (mm)
Nov/2009	21,9	74,8	944,3	3,8	83	8,4
Dez/2009	22,8	75,8	944,5	3,5	84	15,4

Fonte: INMET.

### 3 Resultados

Na Tabela são exibidos os valores calculados para a pressão real de vapor ( $e$ ), a umidade absoluta ( $\rho_v$ ), a massa de vapor que atravessa uma superfície perpendicular a direção do vento, por metro quadrado e por hora ( $m$ ), e a massa total de vapor ( $M$ )

Tabela 3 – Valores estimados a partir dos dados meteorológicos mostrados na Tabela 2.

Mês/ano	e (hPa)	$\rho_v$ ( $\text{g.m}^{-3}$ )	m (kg)	M (kg)
Nov/2009	19,75	14,5	198,36	39.672
Dez/2009	21,03	15,4	194,04	38.808
<b>Média</b>	<b>20,39</b>	<b>15,0</b>	<b>196,20</b>	<b>39.240</b>

A massa média de vapor de água estimada para os meses pesquisados (novembro e dezembro/2009) é superior a 39.000kg por noite.

Esse volume estimado de água presente na atmosfera contribui para dá suporte ao andamento das pesquisas que estão sendo realizadas na Paraíba objetivando a produção de água potável para comunidades rurais isoladas (SILVA E SOUSA, 2009). Na Tabela 4 constam resultados de algumas medidas da massa de água produzida ( $\Delta m$ ) e a energia



consumida ( $\Delta E$ ) em cada intervalo de tempo ( $\Delta t$ ), bem como as razões  $\Delta m/\Delta t$  e  $\Delta E/\Delta t$  e as respectivas médias. O local de realização dos experimentos foi o município de Campina Grande-PB cuja climatologia é semelhante a do município de Monteiro-PB (Tabela 1).

Tabela 4 – Produção de água e consumo de energia no processo.

Início		Término		$\Delta t$ (h)	$\Delta m$ (kg)	$\Delta m/\Delta t$ (kg.h <sup>-1</sup> )	$\Delta E$ (kWh)	$\Delta E/\Delta m$ (kWh.kg <sup>-1</sup> )
23/04/09	21:00	23/04/09	22:00	1,0	0,522	0,522	0,236	0,45
23/04/09	22:20	23/04/09	23:20	1,0	0,525	0,525	0,236	0,45
24/04/09	23:00	25/04/09	06:00	7,0	3,570	0,510	1,652	0,46
27/04/09	23:00	28/04/09	06:00	7,0	4,080	0,583	1,652	0,40
02/06/09	19:20	02/04/09	21:20	2,0	1,140	0,570	0,472	0,41
02/06/09	21:20	02/04/09	22:20	1,0	0,560	0,560	0,236	0,42
02/06/09	22:20	03/04/09	07:20	9,0	5,026	0,558	2,124	0,42
<b>Média</b>	-	-	-	-	-	<b>0,547</b>	<b>0,944</b>	<b>0,43</b>

#### 4 Conclusão

Os resultados obtidos neste estudo mostram a presença de uma grande massa vapor de água presente na atmosfera de Monteiro-PB, mesmo estando inserido na região mais seca do Brasil - o Cariri paraibano.

A condensação diária de apenas 1% (um por cento) dessa massa de vapor produziria cerca de 400 litros de água por dia, suficiente para abastecer de água potável uma família de 4 pessoas.

Outro recurso natural bastante abundante na região é a energia solar. O aproveitamento dessa inesgotável fonte de energia limpa no processo de condensação do vapor de água presente na atmosfera poderá ser mais uma opção de obtenção de água para a região do semiárido brasileiro. Nos processos de condensação utilizados na pesquisas, a produção de um litro de água demanda o consumo de 0,43 kWh de energia.

#### 5 Referências

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. Consulta Dados da Estação Automática: MONTEIRO (PB). Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/sonabra/dspDadosCodigo.php?QTMzNA==>. Acesso em: 23 dez. 2006.

IRIBARNE, J. V. **Atmospheric thermodynamics**. 2.ed. Dordrecht: D. Reidel Publishing Company, 1985. p.77 e 122.

MORAES NETO, J. M.; BARBOSA, M. P.; Araújo, A. E. **Efeito dos eventos ENOS e das TSM na variação pluviométrica do semi-árido paraibano**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.13, n.5, p.575–580, 2009.

SILVA, Genival da; SOUSA, Francisco de Assis Salviano de. **Estudo da viabilidade da produção de água a partir do resfriamento do ar**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental - AGRIAMBI, v.11, n.1, p.61–66, 2007.



## 2º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 28 a 30 de Abril de 2010

SOUSA, José. Tavares de; LEITE, Valderi. Duarte. **Tratamento e utilização de esgotos domésticos na agricultura**. 2. ed. Campina Grande: EDUEPB, 2003. p.21-22.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE – UFCG/CTRN/UACA. **Dados Climatológicos da Paraíba**. Disponível em: <<http://www.dca.ufcg.edu.br/clima/dadospb.html>>. Acesso em: 24 mai. 2006.

VIANELLO, Rubens Leite; ALVES, Adil Rainier. **Meteorologia básica e aplicações**. 1.ed. Viçosa: UFV, 2004. 449p.