

I-066 – OBTENÇÃO DE ÁGUA POTÁVEL A PARTIR DA DESUMIDIFICAÇÃO DO AR COM USO DE ENERGIA SOLAR: ESTRATÉGIA DE ADAPTAÇÃO AO STRESS HÍDRICO NO RS

Bárbara Meier da Costa⁽¹⁾

Graduando em Engenharia Ambiental – UNISC, Bolsista PUIC Tecnológico.

Fernanda Sartori Rodrigues⁽²⁾

Graduando em Química Industrial – UNISC, Bolsista FAPERGS.

Eliezer Henker⁽³⁾

Mestre em Tecnologia Ambiental – UNISC.

Jorge André Ribas de Moraes⁽⁴⁾

Doutor em Engenharia de Produção – UFSC, Professor do Departamento de Arquitetura e Engenharias da Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC.

Enio Leandro Machado⁽⁵⁾

Doutor em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais – UFRGS, Professor do Departamento de Física e Química da Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC.

Endereço⁽¹⁾: Rua Sete de Setembro. Edifício Centauro, 845 complemento 604 – Marques Ribeiro – Cachoeira do Sul - RS - CEP: 96508-011 - Brasil - Tel: +55 (51) 3722-7449 - Celular: +55 (51) 93151538- e-mail: barbameierdacosta@hotmail.com

RESUMO

Considerado um dos maiores problemas da atualidade, o *stress* hídrico é causado principalmente por fatores climatológicos e crescimento populacional, o que estabelece o Rio Grande do Sul em situação crítica em praticamente todos os períodos do ano nas regiões oeste e sul do estado. Uma alternativa encontrada para obtenção de água potável, é a partir da umidade do ar com unidade geradora de frio com energia solar. A proposta utiliza um sistema de compressão-descompressão com gás amônia (NH₃), em equipamento com coletor parabólico de energia com luminosidade do dia. O projeto de desumidificação do ar foi concebido utilizando um ciclo noite/dia com a finalidade de obter gelo a partir de unidade de descompressão com fluxo de ar alimentados com ventiladores acionados com energia solar (célula fotovoltaica). Testes iniciais foram realizados utilizando-se um desumidificador laboratorial, largura de 0,31 m, comprimento de 0,33 m e altura de 0,90 m (ARSEC, MOD.160M3-U) operando com potência de 290 w. Os resultados apresentam obtenção de 1,73 L m⁻² d⁻¹, o aparelho foi programado para manter uma umidade relativa do ar de 60 % no interior do laboratório. Além deste foi realizado também, em escala laboratorial, experimentos com garrafas PET contendo água congelada, onde se pode observar a relação entre a umidade relativa do ar, temperatura, influencia da velocidade do vento e a água obtida em determinado tempo através da condensação do ar em contato com a superfície fria. Apresentando o melhor resultado em épocas de umidade relativa média/alta, mantendo-se entre 58% e 68%, temperatura na faixa de 25° e 28°, e velocidade do vento em 8,5 km/h. Ao final do teste de cinco horas, coletou-se em média um volume de água de 259,33 ml.

PALAVRAS-CHAVE: Desumidificação, água potável, compressão-descompressão.

INTRODUÇÃO

Apesar de a água ser a substância mais abundante do planeta, ocupando 70% da sua superfície, a escassez desta é um problema crônico em muitas regiões. Essa contradição torna-se compreensível ao notar-se que de cada 100 litros de água que temos disponíveis, apenas dois são viáveis para consumo humano, o resto são águas salgadas, geleiras ou águas subterrâneas profundas. Relaciona-se a escassez não apenas a intensificação da demanda gerada pelo crescimento descontrolado da população, mas principalmente ao mau uso, que inclui o consumo em excesso e descarte impróprio da água não tratada.

O Brasil é um dos maiores países do globo. Suas terras se estendem desde o Hemisfério Sul até o Hemisfério Norte. Além de sua dimensão continental, o Brasil é um país de grandes contrastes: solos, paisagens vegetais, topografia e climas são alguns exemplos. Nesse contexto a região Sul é a região climaticamente mais regular. As chuvas são bem distribuídas o ano inteiro e as quatro estações do ano são nítidas (Vianello & Alves, 1991).

O chamado *stress* hídrico é ocasionado por vários fatores entre eles a mudança nos fatores climatológicos, queimadas, desmatamento e aumento de população. O Rio Grande do Sul possui situação crítica quanto a disponibilidade de água potável durante praticamente todos os períodos do ano nas regiões oeste e sul do estado, e essa falta para o abastecimento tende a continuar aumentando gradativamente ao longo do tempo.

Diferentemente de outros componentes atmosféricos, a distribuição da água na atmosfera varia fortemente com o tempo, posição e altitude. A água também é única dentre as moléculas que compõem a atmosfera, devido sua capacidade de mudar de fase em temperaturas terrestres. Isto significa que a água pode transferir energia de sua forma congelada nos pólos, para sua fase líquida e vaporizada na atmosfera. Uma vez na atmosfera, a água é transportada pelos ventos e pode até mesmo se difundir na estratosfera, onde pode exercer certa influência na destruição da camada de ozônio (Maurellis et al., 2003).

A formação do vapor d'água se deve ao aquecimento das superfícies cobertas por água, dos solos úmidos (evaporação) e das superfícies vegetadas (transpiração), devido à radiação solar (da Silva e Souza, 2009). Se todo o vapor d'água fosse condensado na superfície, ocuparia um volume de $12,75 \times 10^9 \text{m}^3$. Caso esse volume fosse distribuído uniformemente sobre toda a superfície da Terra, formaria uma lâmina de água com cerca de 25 mm de altura (Garcez e Alvarez, 1988).

O vapor d'água atmosférico, apesar de ter uma baixa concentração (máxima de 4% em volume), desempenha um papel importante na preservação da vida no planeta. Ele é responsável por parte do efeito estufa da atmosfera ao absorver o calor irradiado pela superfície terrestre, mantendo-a aquecida. Além disso, participa do ciclo hidrológico, alimentando chuvas e tempestades, e está relacionado a processos vitais dos seres vivos, na troca de energia com o meio (Sapucci, 2001).

MATERIAIS E MÉTODOS:

A partir da Estação Climatológica da Universidade de Santa Cruz do Sul - UNISC localizada no nordeste do Estado do Rio Grande do Sul, a 155 km da capital Porto Alegre, $29^{\circ}43'59''$ de Latitude Sul e $52^{\circ}24'52''$ de Longitude Oeste. Obteve-se a avaliação da média da umidade relativa do ar, temperatura e precipitação mínima e máxima no período de 2008 a 2010.

SISTEMA DESUMIDIFICAÇÃO, COMPRESSÃO-DESCOMPRESSÃO, COM GÁS AMÔNIA (NH₃)

A partir da umidade do ar com unidade geradora de frio, com energia solar, foi concebido em um sistema de compressão-descompressão, em um ciclo noite/dia, gerando gelo a partir da unidade de descompressão, afim de obter água potável. Contendo um refletor parabólico, que concentra os raios solares na capsula geradora, esta possuindo amônia e cloreto de cálcio no ciclo dia, uma serpentina que condensa o gás vindo da capsula, e um tanque térmico, o sistema possui dimensionamento de coletor de energia solar de 2,0 m de largura, 1,5 m de altura e 4,5 m de comprimento.

SISTEMA DE DESUMIDIFICAÇÃO EM ESCALA LABORATORIAL COM GARRAFAS PET

Reproduzindo o artigo "Estudo da viabilidade da produção de água a partir do resfriamento do ar" (DA SILVA E DE SOUZA), no laboratório de Engenharia Ambiental da UNISC – Universidade de Santa Cruz do Sul, foi construído um reator para atender as necessidades dos ensaios e análises preliminares.

Utilizou-se duas garrafas plásticas pet de 2 litros com área de superfície $0,08853 \text{m}^2$, contendo água congelada. Penduradas por uma haste de ferro, foi coletada a água gerada pela condensação do ar em contato com a superfície fria. Foram observados durante os ensaios de duração de seis horas, temperatura, velocidade do vento e umidade relativa do ar. Para isso utilizou-se um anemômetro (INSTRUTHERM termo-higro-anemômetro luxímetro digital portátil Modelo THAL -300) e para obter a temperatura da superfície de cada garrafa usou-se um termômetro (FLUKE, 62 Mini IR Thermometer).

PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

Observaram-se os principais parâmetros para as análises preliminares. Tais como: pH, turbidez, condutividade das amostras, Coliforme Totais e *Escherichia coli*. O pH e condutividade foram medidos através do aparelho SANXIN MP 521 Lab pH/ Cond Meter. Para identificar a turbidez utilizou-se o turbidímetro MARTINI

Instruments Mi 415. O Oxigênio Consumido foi determinado através do método do permanganato (ADAD). Por fim, a determinação de Coliforme Totais e *Escherichia coli*, fez-se encubando as amostras em uma estufa a 37 °C , utilizando-se placas Petrifilm que geralmente servem para análises em indústrias de cosméticos e alimentos.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

RESULTADOS DE TESTES LABORATORIAIS COM GARRAFAS PET

Primeiramente realizou-se o ensaio de seis horas com influência da velocidade do vento, este igual a 8,5 km/h. Os melhores resultados foram obtidos comparando-se com o teste sem influencia do mesmo. A Tabela 01 apresenta as características de cada garrafa, climatológicas e o volume coletado.

Tabela 01: Média dos resultados obtidos no experimento de garrafas com velocidade do vento igual a 8,5 km/h

Garrafas	HORA	Temp. Superfície(°C)	Temp. Ambiente(°C)	UR%	Volume
1	1ª	4,46	25,50	67,86	0,00
2	1ª	4,33	25,50	67,86	0,00
1	2ª	8,20	26,10	66,23	46,66
2	2ª	8,66	26,10	66,23	47,33
1	3ª	10,06	26,60	65,06	47,33
2	3ª	11,46	26,60	65,06	39,33
1	4ª	16,86	27,03	63,00	36,00
2	4ª	15,50	27,03	63,00	36,00
1	5ª	22,26	27,46	61,93	0,33
2	5ª	21,73	27,46	61,93	4,66
1	6ª	24,73	27,73	57,46	0,66
2	6ª	24,90	27,73	57,46	1,00

Na Tabela 1 constatou-se que nas primeiras horas de teste houve uma geração de maior de água através da condensação da umidade relativa do ar (UR) maior, quando a superfície das garrafas estão em temperaturas mais baixas. A temperatura ambiente, característica da região nos períodos de verão, manteve-se entre 25°C e 28°C, com uma UR média/alta entre 57 e 68%. Ao final do teste de cinco horas, coletou-se em média um volume de água de 259,33 ml, observando-se que uma maior velocidade do vento, 8,5 km/h, obteve uma influencia significativa em relação a condensação.

Com posse das amostras fez-se as análises físico – químicas para enquadrar a água obtida em apta para consumo humano seguindo a Portaria 518 do Ministério da Saúde que recomenda o pH estando entre 6,0 a 9,5. Comparando os resultados obtidos nos testes com garrafa pet, tabela 02 com a Portaria podemos ver que os resultados apresentados são perfeitamente cabíveis, pois obteve-se pH em volta de 7,5.

Tabela 02 : mostra os valores médios obtidos com relação aos parâmetros: pH, turbidez e condutividade.

Parâmetros avaliados	Garrafa 1	Garrafa 2
pH	7,39333333	7,55666667
Turbidez (UNT)	0,44333333	0,63666667
Condutividade (µS / cm)	29,4966667	19,92

Já para turbidez, o recomendado para águas segundo a Resolução 357 CONAMA é de 40 UNT para águas de classe 1 (próprias para consumo humano após tratamento simplificado) e para Portaria 518 abaixo de 5 UNT,

obteve-se resultados abaixo de 1 UNT (unidades nefelométricas de turbidez) atendendo assim as exigências deste item para ser considerada própria para consumo humano.

Segundo CETESB, 2009, a condutividade é considerada imprópria quando está níveis superiores a 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Como as amostras ficaram com teor entre 20 e 30 $\mu\text{S}/\text{cm}$, abaixo do valor estipulado, podem ser consideradas próprias para consumo após tratamento simplificado.

Na Tabela 03, segundo a Resolução – CNNPA(Comissão nacional de Normas e Padrões para Alimento) nº 12, de 1978 com relação ao O.C. são consideradas águas potáveis as que têm até $2,5\text{mg}/\text{L}^{-1}$ de oxigênio consumido.

Tabela 03: Média dos resultados obtidos para Oxigênio Consumido(O.C.)

Amostras	KmnO4 utilizado (ml)	Oxalato utilizado (ml)	O.C (mg)
Branco	22,9	10	-
Água de Lavagem	26,5	10	3,733333333
Amostra 1	27,15	10	3,966666667
Amostra 2	30,75	10	6,333333333

Ao analisar a Tabela 03 pode-se observar então que a água captada pelo resfriamento do ar quanto a esse item não se encaixa nos padrões de potabilidade comparando-se com as normas técnicas exigidas.

Observando-se as Placas Petrifilm, utilizadas geralmente para análises em indústrias de cosméticos e alimentos, constatou-se que a água obtida por condensação nas garrafas PET atende as exigências da saúde PORTARIA Nº 518/GM de março de 2004 do ministério da saúde, que estabelece o padrão de potabilidade, procedimentos e responsabilidades pela qualidade da água para consumo humano, deve haver ausência de Escherichia coli ou Coliformes Termotolerantes, em 100 ml de amostra, assim como os Coliformes Totais.

Conforme a figura 01 o sistema desumidificação do ar utilizando gás amônia foi concebido com: refletor parabolóide, cápsula geradora, serpentina condensadora e tanque térmico, funcionando em um ciclo noite/dia com a finalidade de obter gelo a partir de unidade de descompressão com fluxo de ar alimentado com ventiladores acionados com energia solar.

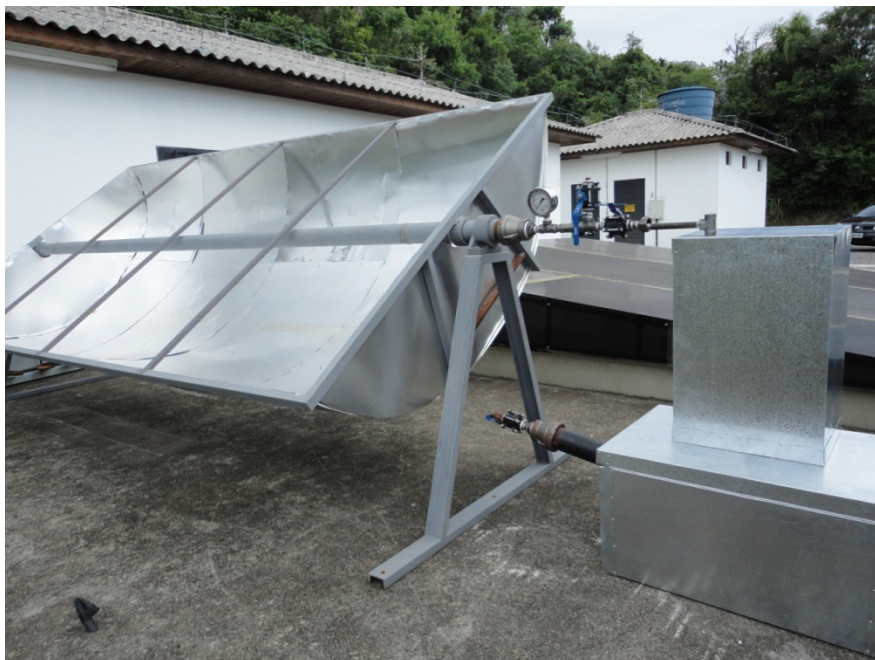


Figura 01: Reator ICE MAKER Fonte: Registro do autor, 2012

Confeccionado com estrutura de aço carbono SAE1008 40mm x 40mm. Tendo dimensões externas de 2m de largura, 1,5m de altura e 4,5m de comprimento. O refletor parabolóide concentra os raios na cápsula geradora, que contém um tubo de aço carbono para alta pressão de 3 Polegadas de diâmetro por 4 metros de comprimento com conexões e registros para alta pressão, união em aço carbono, manômetro, dois acessos com registro para realização de vácuo e abastecimento de amônia e registro principal. A amônia e o cloreto de cálcio estão detidos na cápsula geradora para o aquecimento no ciclo dia. Conectado a uma serpentina elaborada em segmentos de tubo de aço carbono de alta pressão e joelhos. A serpentina localiza-se dentro de um reservatório para água, registro e união para acoplamento do tanque térmico. Faz o trabalho de condensar o gás amônia que se desprende do cloreto de cálcio durante o processo do ciclo dia. O tanque de armazenamento de Amônia é confeccionado em tubo de aço carbono para alta pressão de 3” de diâmetro. Possui tampão em uma das extremidades contendo aletas de alumínio ao redor do tanque para facilitar a troca de calor no ciclo noite, revestido por um tanque térmico com um cooler em uma das extremidades para facilitar a entrada de ar e condensação quando em contato com as aletas. Este equipamento não foi operado ainda, pois está em fase de construção e apresentou falhas na confecção na região da serpentina, contendo vazamentos e aumentando o risco de operação por conter gás amônia em seu interior.

CONCLUSÃO

O equipamento do sistema de compressão/descompressão com gás amônia, não entrou em operação ainda, mas deverá levar em consideração os parâmetros analisados com os testes de escala laboratorial com garrafas PET. Onde se constatou que a influência da velocidade do vento é significativa para obtenção de água potável por condensação do ar, em um determinado ciclo. Pode-se observar a melhor condição para a condensação da umidade do ar (UR) na intenção de gerar água potável para consumo humano. A amostra coletada e analisada nos parâmetros principais requeridos, mostrou-se em conformidade com a legislação comprovando sua potabilidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ADAD, Jesus Miguel Tajra. Controle químico de qualidade. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1982. 204p.
2. ALVES, Líria. Conceito de pH. Disponível em: <http://www.brasilecola.com/quimica/conceito-ph.htm>
3. APOSTILA EMBASA: Curso para Operador de Estação de Tratamento de Água
4. AWADALLAK, J. A.; Martins, T. D.; da Silva, E. A. Modelagem da refrigeração do ciclo de compressão a vapor utilizando amônia como fluido refrigerante; Universidade Estadual do Oeste do Paraná; 2007.
5. BOHRER, M. B. Biomonitoramento das lagoas de tratamento terciário do sistema de tratamento dos efluentes líquidos industriais (SITEL) do pólo petroquímico do sul, Triunfo, RS, através da comunidade zooplancônica. 469p. il. Tese (Doutorado em Ciências). UFSCar, São Paulo. 1995.
6. CABRAL, B. Direito Administrativo: Legislação Estadual de Recursos Hídricos. Brasília - Senado Federal, 1997.
7. CONSELHO REGIONAL DE DESENVOLVIMENTO DO VALE DO RIO PARDO. Plano estratégico de desenvolvimento do Vale do Rio Pardo. Edunisc, Santa Cruz do Sul, 1998.
8. DA SILVA, G. e de Sousa, F. A. S. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental v.13, n.5, p.575–580, 2009.
9. DALTRO, F., SOUZA MATOS, J. *Reúso De Águas, Uma Alternativa Sustentável Para A Economia De Água No Meio Urbano: Um Estudo De Caso Em Aracaju-Se.*. Anais do 22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Joinville, 2003.
10. DESIDERI, U., Proietti, S., Sdringola, P. Solar-powered cooling systems: Technical and economic analysis on industrial refrigeration and air-conditioning applications, Applied Energy 86 (2009) 1376–1386.
11. GAMA, Michelle da Silva and AFONSO, Júlio Carlos. De Svante Arrhenius ao peagâmetro digital: 100 anos de medida de acidez. Quím. Nova [online]. 2007, vol.30, n.1, pp. 232-239. ISSN 0100-4042.
12. GARCEZ, L. N., ALVAREZ, G. A. Hidrologia. 2. ed. rev. atualizada. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 1988.
13. HABEEBULLAH, B. A. Potential use of evaporator coils for water extraction in hot and humid áreas, Desalination 237 (2009) 330–345.
14. HILDBRAND C., Dind, P., Pons, M., Buchter, F. A new solar powered adsorption refrigerator with high performance Solar Energy 77 (2004) 311–318.
15. HUTZINGER, O. The handbook of environmental chemistry. Heidelberg: Springer-Verlag, 198.

16. IRIBARNE, J. V. Atmospheric thermodynamics. 2.ed. Dordrecht: D. Reidel Publishing Company, 1985. 259p.
17. MAURELLIS, A.; Tennyson, J. The climatic effects of water vapour. *Physics World*, 16, 29-33, 2003.
18. MACHADO, e. L., Rodriguez Lopez, d.a., Voese, a. L., Lourenço, A. E Freitas N. Sistema de saneamento rural de baixo custo Anais do 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Joinville, 2003.
19. RON, E.Z. Host appecificity of septicemic *Escherichia coli*: human and avian pathogens. *Curr. Opinion Microbiol.*, v.9, 2006.
20. SANTOS, L. M. M. Avaliação ambiental de processos industriais. Ouro Preto: ETFOP, 2002. 177 p. ISBN 85-86473-04-9.
21. SAPPUCI, Luiz Fernando. Estimativa do vapor d'água atmosférico e avaliação da modelagem do atraso zenital troposférico utilizando GPS. 193 pág. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas) – Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2001
22. UNICAMP. Coliformes totais e fecais – Detecção em amostras de água através do teste de Presença-Ausência (P/A), segundo CETESB – L5.240: Roteiro de aula prática.
23. VALENTE, José Pedro Serra; PADILHA, Pedro Magalhães and SILVA, Assunta Maria Marques. Oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO) como parâmetros de poluição no ribeirão Lavapés/Botucatu - SP. *Eclét. Quím.* [online]. 1997, vol.22, pp. 49-66. ISSN 0100-4670.