



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA**

**CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA - CAMPUS II**

**DEPARTAMENTO DE  
CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS**

**PÓS - GRADUAÇÃO  
EM METEOROLOGIA**

REDUÇÃO DE EVAPORAÇÃO EM RESERVATÓRIOS ARTIFICIAIS

AUTOR: FÁBIO ADRIANO MONTEIRO SARAIVA

PUBLICAÇÃO DCA-CMM-TD Nº 05 - 2000

**CAMPINA GRANDE**

DEZEMBRO - 2000

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
CURSO DE MESTRADO EM METEOROLOGIA  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS

REDUÇÃO DE EVAPORAÇÃO EM RESERVATÓRIOS ARTIFICIAIS

FÁBIO ADRIANO MONTEIRO SARAIVA

CAMPINA GRANDE – PB

Dezembro/2000

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
CURSO DE MESTRADO EM METEOROLOGIA  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS

REDUÇÃO DE EVAPORAÇÃO EM RESERVATÓRIOS ARTIFICIAIS

FÁBIO ADRIANO MONTEIRO SARAIVA

CAMPINA GRANDE – PB

Dezembro/2000

---

FÁBIO ADRIANO MONTEIRO SARAIVA

**REDUÇÃO DE EVAPORAÇÃO EM RESERVATÓRIOS ARTIFICIAIS**

Dissertação apresentado ao Curso de Mestrado em  
Meteorologia da Universidade Federal da Paraíba  
em cumprimento às exigências para a obtenção do  
Grau de Mestre

---

Área de Concentração: Meteorologia de Meso e Grande escala  
Sub-Área: Climatologia

Francisco de Assis Salviano de Sousa

Orientador

Mário de Miranda V. B. R. Leitão

Co-Orientador

Campina Grande, Pb  
2000



**FICHA CATALOGRÁFICA**


S243r	<p>Saraiva, Fábio Adriano Monteiro</p> <p>Redução de evaporação em reservatórios artificiais / Fábio Adriano Monteiro Saraiva. Campina Grande: UFPB, 2000.</p> <p>60p. : il.</p> <p>Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Paraíba.</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Evaporação-Redução-Semi-árido-Brasil-Nordeste</li><li>2. Reservatório Artificiais-Evaporação-Semi-árido-Brasil-Nordeste</li><li>3. Vento</li><li>4. Meteorologia</li></ol> <p>:</p> <p>CDU: 556.132(812/814)</p>
-------	---

FÁBIO ADRIANO MONTEIRO SARAIVA

REDUÇÃO DE EVAPORAÇÃO EM RESERVATÓRIOS ARTIFICIAIS

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 16/12/00


BANCA EXAMINADORA



Dr. FRANCISCO DE ASSIS SALVIANO DE SOUSA  
Universidade Federal da Paraíba



Dr. RENILSON TARGINO DANTAS  
Universidade Federal da Paraíba



Dra. VERA LÚCIA ANTUNES DE LIMA  
Universidade Federal da Paraíba

*" (...) Se ao assalto subitâneo se sucedem as chuvas regulares, transmudam-se os sertões, revivescendo. Passam, porém, não raro, num giro célere, de ciclone. A drenagem rápida do terreno e a evaporação, que se estabelece logo mais viva, tornam-nos, outra vez, desolados e áridos. E penetrando-lhes a atmosfera ardente, os ventos duplicam a capacidades higrométrica e vão, dia a dia, absorvendo a umidade exígua da terra, reabrindo o ciclo inflexível das secas. "*

**Euclides da Cunha**

### **Aos Mestres**

*"Aqueles que foram nossos mestres e amigos, os nossos mais sinceros agradecimentos;*

*Aqueles que se limitaram a ser apenas professores, nosso respeito e compreensão;  
E, aqueles que não souberam ser nem professores, nem amigos, a nossa esperança de que no futuro consigam compreender o significado das palavras dedicação e humildade."*

## HOMENAGEM

*Aos meus pais, **Efigênio S. da Silva & Ivony L. M. Saraiva** (em especial), pela dedicação, apoio e estímulo para o estudo, meu muito obrigado*

A **Fernanda**, esposa e amiga, pela força nas horas mais difíceis, dedicação e carinho.

*Aos meus irmãos: **Fred, André e Fabrício** pelo apoio, incentivo e amizade.  
Aos grandes amigos **Ewerton e Alberto** pela amizade e ajuda para a concretização deste trabalho.*



FÁBIO ADRIANO MONTEIRO SARAIVA

REDUÇÃO DE EVAPORAÇÃO, EM RESERVATÓRIOS NATURAIS E  
ARTIFICIAIS, NA REGIÃO SEMI-ÁRIDA DO ESTADO DA PARAÍBA

Dissertação apresentado ao Curso de Mestrado em  
Meteorologia da Universidade Federal da Paraíba  
em cumprimento às exigências para a obtenção do  
Grau de Mestre

Área de Concentração: Meteorologia de Meso e Grande escala  
Sub-Área: Climatologia

Francisco de Assis Salviano de Sousa

Orientador

Mário de Miranda V. B. R. Lê

Co-Orientador

Campina Grande, Pb  
2000

## DEDICATÓRIA

*Aos meus eternos amigos: **Ewerton, Alberto e Ana Mônica** pelos laços de amizade conquistados ao longo desses anos e pelo companheirismo, carinho, apoio e incentivo, principalmente nas horas mais difíceis, e por terem me ensinado que o mais importante em tudo o que fazemos é vencer nossas próprias limitações.*

Dedico

- *Aos meus avós Pedro e Carlinda, Milton e Ritinha*

Ofereço

## AGRADECIMENTOS

À Deus, por dar-me saúde e força para superar as dificuldades e vencer os obstáculos da vida, em busca de novas conquistas.

Ao curso de Mestrado em Meteorologia do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, pela estrutura didático-científica.

À Coordenação de Aperfeiçoamento do Pessoal do Ensino Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de estudo.

Ao Orientador Dr. Francisco de Assis Salviano de Sousa pela sua paciência, ajuda, amizade e fundamental orientação desde a elaboração do projeto de pesquisa até a revisão final deste trabalho.

Agradecemos ao prof. Dr Mário de Miranda V. B. R. Leitão pela instalação e gerenciamento dos instrumentos no período do experimento.

Aos funcionários Eng<sup>a</sup>. Eyres Diana Ventura Silva, Mirian Carmem Costa e em especial a Divanete Cruz Rocha, pela atenção, assistência e gratificante colaboração.

Às amigas Maria do Socorro Martins, Martinha Gonçalves, Maria das Graças, Adetive Gomes, Márcia Quirino, Lurdinha, Inêz, Ceíça e todos os funcionários do restaurante universitário pela amizade e apoio ao longo desses anos.

Aos meus amigos, Fabrício, Arthur, Hailton, Paula, Romildo, Geovanes Antônio, Nielza, Ionila Sabino, Nadja que sempre estiveram presentes, em especial a Odimar, Evilásio Junqueira, Werônica, Daisy e Maria José Fernandes e a todos aqueles que mesmo distantes compartilharam deste ideal, incentivando-me a vencer todos os obstáculos durante a realização deste trabalho.

Aos professores e amigos Karuna (UFPB), Renilson, Regina, Adilson Wagner Gandu (USP), José Eduardo Prates (SIMEPAR) e Raffi Agop Sismanoglu (FURNAS), pela força, incentivo e orientação, e a Socorro Pereira do Departamento de Educação (UFPB), Luis Mendes do Departamento de Matemática (UFPB), Aldo Roberto Cícero (SAA), José Oribe Aragão do Departamento de Oceanografia (UFPE).

Pela força, incentivo e carinho : vó Livramento, Ivonete, Luciana, Luciano e Ângela; que também fazem parte de minha família.

## RESUMO

O objetivo deste trabalho é o de apresentar uma técnica prática que seja capaz de reduzir a perda de água de um reservatório pelo processo de evaporação. Essa técnica resume-se na cobertura, com telas plásticas, da superfície evaporante. Essa cobertura reduzirá a radiação solar ou energia calorífica recebida pela superfície de água e conseqüentemente o gradiente de pressão do vapor de água. O experimento foi dividido em duas fases compreendidas entre os dias, 28 de março à 25 de abril de 1999 utilizando tela branca, e 1 de maio à 13 de maio de 1999 usando tela verde. Nesses experimentos foram mensuradas as seguintes variáveis meteorológicas: velocidade do vento à 0,5 e 2,0 metros da superfície evaporante, perdas evaporativas no tanque coberto com tela, no tanque descoberto e no tanque classe A. Os valores das variáveis: temperaturas da superfície da água e do ar atmosférico, radiação solar global sobre e sob a tela, radiação solar líquida e umidade do ar foram obtidos através de um sistema automático de aquisição de dados denominado MICROLOGGERS 21X., em intervalos de três horas (06:00, 09:00, 12:00, 15:00 e 18:00 horas) na primeira fase e de seis horas na segunda fase. A redução da evaporação potencial no tanque de cimento amianto coberto com tela branca apresenta valores em torno de 25% e com a verde 37%. A evaporação potencial é o produto da interação de vários parâmetros meteorológicos que interagem entre se e tem sua parcela de contribuição neste produto de forma diferenciada, ficando atrelados apenas a condições ambientais. Sendo assim os sistemas usados neste experimento, com o intuito de conter o máximo essa evaporação, atingem seus objetivos, se considerarmos as limitações as quais o mesmo foi montado e o local, o qual resultou numa redução entorno de 22% , tela branca, e 30% para tela verde, na radiação solar global incidente, na superfície da água do tanque com a tela, sendo este um dos principais parâmetros meteorológicos na evaporação potencial sobre lagos.

## ABSTRACT

The objective of this work is to show a practical technique capable of reducing water losses by evaporation in a reservoir. The technique consists in covering the evaporative surface with plastic screens. Solar radiation or heat reaching the water surface is reduced and, as a consequence, the water vapour pressure gradient too.

The field experiment is divided in two phases; from March 28 to April 25 1999, using white screen, and from May 1<sup>st</sup> to May 13 1999, using green screen. Wind speed at 0.5 and 2.0 m above the evaporative surface and evaporative losses in three tanks ( screen-covered, uncovered and class A) are measured in both phases.

Water surface and air temperatures, global solar radiation over and under the plastic screen, net solar radiation and relative humidity are obtained using an automatic data acquisition system MICROLOGGERS 21x, at 3 – hour intervals ( 06:00, 09:00, 12:00, 15:00 and 18:00 SLT) during the first phase and at 6 – hour intervals during the second one.

Results show reduction in potential evaporation (PE) to be 25% in the white screen case and 37% in the green one, thereby showing the technique to be successful in reducing PE in spite of the limitations of this study.



# SUMÁRIO

	Pág.
RESUMO	
ABSTRACT	
LISTA DE SÍMBOLOS	i
LISTA DE TABELAS	ii
LISTA DE FIGURAS	iii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1. Interpretação Física da evaporação	4
2.2. Dinâmica da evaporação atmosférica	6
2.3. Estudos observacionais, numéricos e teóricos da evaporação potencial	7
2.4. Técnicas para reduzir a evaporação sobre reservatórios naturais e artificiais	13
3. MATERIAL E MÉTODOS	17
3.1. Descrição da região que contém a área de estudo	17
3.2. Descrição da área experimental	18
3.3. Instrumentos meteorológicos utilizados neste experimento	19
3.4. Descrição do modelo físico	20
3.5. Descrição do experimento	21
3.6. Coeficiente de correlação linear	24
4. RESULTADO E DISCUSSÃO	26
4.1. Avaliação do efeito da utilização das telas sobre os tanques considerando alguns parâmetros meteorológicos relacionados com a EP	26
4.2. Efeitos das telas verde e branca sobre a evaporação potencial nos tanques de amianto	46
4.3. Sumário	50

5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES	52
5.1. Conclusões	52
5.2. Sugestão	53
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	

## LISTA DE SIMBOLOS

### Latinos

CCL	Coeficiente de Correlação Linear	Adimensional
NS	Nível de Significância	%
RC	Região Crítica	
EP	Evaporação Potencial	mm
EP <sub>b</sub>	Evaporação Potencial Sob Tela Branca	mm
EP <sub>v</sub>	Evaporação Potencial Sob Tela Verde	mm
R <sub>gb</sub>	Irradiação Solar Global Sob tela branca	Wm <sup>-2</sup>
SR <sub>b</sub>	Saldo de Radiação Solar Sob tela branca	Wm <sup>-2</sup>
R <sub>gv</sub>	Irradiação Solar Global Sob tela Verde	Wm <sup>-2</sup>
SR <sub>v</sub>	Saldo de Radiação Solar Sob tela Verde	Wm <sup>-2</sup>
SR	Saldo de Radiação Solar	Wm <sup>-2</sup>
Rs	Irradiação Solar na Superfície do lago	Wm <sup>-2</sup>
T <sub>a</sub>	Temperatura do ar	°C
T	Temperatura Média Diária	°C
T <sub>s</sub>	Temperatura da Superfície da Água	°C
T <sub>sb</sub>	Temperatura da Superfície da Água Sob Tela Branca	°C
T <sub>sv</sub>	Temperatura da Superfície da Água Sob Tela Verde	°C
UR	Umidade Relativa do Ar	%
V <sub>0,5</sub>	velocidade do vento a meio metro de altura	ms <sup>-1</sup>
V <sub>2</sub>	velocidade do vento a dois metro de altura	ms <sup>-1</sup>

## LISTA DE TABELAS

	Pág.
Tabela 1 - Valores observados e/ou estimados das variáveis meteorológicas na primeira fase do experimento com tanque de cimento amianto .....	27
Tabela 2 - Valores observados e/ou estimados das variáveis meteorológicas na primeira fase do experimento com tanque de cimento amianto coberto com tela branca .....	28
Tabela 3 - Correlação entre EP da água do tanque de cimento amianto e algumas variáveis meteorológicas para a primeira fase do experimento.....	29
Tabela 4 - Valores observados e/ou estimados das variáveis meteorológicas na segunda fase do experimento com tanque de cimento amianto.....	37
Tabela 5 - Valores observados e/ou estimados das variáveis meteorológicas na segunda fase do experimento com tanque de cimento amianto coberto com tela verde .....	38
Tabela 6 - Correlação entre EP da água do tanque de cimento amianto e algumas variáveis meteorológicas para a segunda fase do experimento.....	39
Tabela 7 - Valores diários da evaporação potencial entre 06:00 e 18:00 horas local para o primeiro período do experimento.....	47
Tabela 8 - Valores diários da evaporação potencial entre 06:00 e 18:00 horas local para o segundo período do experimento. ....	49

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 – Localização de Campina Grande no Estado da Paraíba.....	18
Figura 2 -Tanques de cimento amianto enterrados com cinco centímetros de borda acima do solo e descoberto (primeiro plano) e coberto com tela plástica (segundo plano), em ambos encontram-se um sensor de temperatura na superfície da água e um parafuso micrométrico. ....	21
Figura 3 - Estação meteorológica e as telas branca (Figura 3a) e verde (Figura 3b), no primeiro plano, cobrindo o piranômetro e no segundo o tanque de cimento amianto( indicado pelas setas brancas). ....	22
Figura 4 - Sistema automático microloggers 21x de aquisição de dados(seta vermelha) e os sensores de umidade(seta laranja), temperatura do ar(seta laranja), velocidade do vento(seta azul) e saldo de radiação(seta amarela).....	23
Figura 5 - Relação entre os módulos da evaporação e da umidade relativa do ar para o tanque descoberto (a) e tanque coberto com tela branca (b), para a primeira fase do experimento entre os dias 28/03 e 27/04/1999 .....	31
Figura 6 - Relação entre os módulos da evaporação e da velocidade do vento à dois metros de altura da superfície da água, tanque descoberto (a) e coberto com tela branca (b), para a primeira fase do experimento entre os dias 28/03 e 27/04/1999.....	33
Figura 7 - Relação entre os módulos da evaporação e da velocidade do vento à meio metro de altura da superfície da água (a) tanque descoberto e (b) tanque coberto com tela branca, para a primeira fase do experimento entre os dias 28/03 e 27/04/1999 .....	34
Figura 8 - Relação entre os módulos da evaporação e o saldo de radiação (a) tanque descoberto e (b) tanque coberto com tela branca, para a primeira fase do experimento entre os dias 28/03 e 27/04/1999.....	35
Figura 9 - Relação entre os módulos da evaporação e da irradiação solar global (a) tanque descoberto e (b) tanque coberto com tela branca, para a primeira fase do experimento entre os dias 28/03 e 27/04/1999.....	36

- Figura 10 - Relação entre os módulos da evaporação e da umidade relativa do ar para o tanque descoberto (a) e tanque coberto com tela verde (b), para a segunda fase do experimento entre os dias 01/04 e 13/04/1999..... 40
- Figura 11- Relação entre os módulos da evaporação e da velocidade do vento à dois metros de altura da superfície da água (a) tanque descoberto e (b) tanque coberto com tela verde, para a segunda fase do experimento entre os dias 01/04 e 13/04/1999..... 41
- Figura 12 - Relação entre os módulos da evaporação e da velocidade do vento à meio metros de altura da superfície da água (a) tanque descoberto e (b) tanque coberto com tela verde, para a segunda fase do experimento entre os dias 01/04 e 13/04/1999 ..... 42
- Figura 13 - Relação entre os módulos da evaporação e o saldo de radiação (a) tanque descobertos e (b) tanque coberto com tela verde, para a segunda fase do experimento entre os dias 01/04 e 13/04/1999 ..... 44
- Figura 14 - Relação entre os módulos da evaporação e da irradiação solar global (a) tanque descoberto e (b) tanque coberto com tela verde, para a segunda fase do experimento entre os dias 01/04 e 13/04/1999..... 45
- Figura 15 - Evaporação potencial da água do tanque sem tela (linha sem pontos) e com tela branca (linha com pontos)..... 48
- Figura 16 - Evaporação potencial (mm) da água dos tanques sem tela (linha sem pontos) e com tela verde (linha com pontos). ..... 49



## **1 - INTRODUÇÃO**

O Nordeste do Brasil, em condições normais, caracteriza-se pelo seu clima quente e seco, belas praias e chuvas concentradas em apenas três meses do ano. Deveria ser o paraíso dos turistas, não é. Essa característica que deveria ajudar, especificamente a concentração de dias com chuva, pode muitas vezes dificultar a vida dos nativos. A ocorrência da seca no Nordeste, mais precisamente no Polígono das Secas, com uma área de aproximadamente 937.000 Km<sup>2</sup>, é de relevante preocupação por ser o semi-árido mais populoso do mundo e atingir boa parte da população nordestina e de sua economia. Essa parte da população que mais sofre é exatamente a mais pobre e a mais despreparada para conviver com os efeitos da seca.

Na década de quarenta foi planejada e executada, pelo Governo Federal para toda Região Nordeste, a construção de reservatórios para viabilizar a oferta de água. Instalou-se à época a crença da solução da seca pela construção de reservatórios. Tudo feito de acordo com as regras da teoria, mas em descompasso com as regras da natureza. Havia e ainda há um "inimigo" que insiste em transferir ou enviar parte dessa água acumulada nesses reservatórios de volta para a atmosfera.

A maioria dos açudes do semi-árido brasileiro, tomando por base os grandes reservatórios nacionais, é de pequeno e médio portes e o uso da água armazenada neles deverá se intensificar, em futuro próximo, devido à expansão dos projetos de irrigação, ao aumento populacional e ao crescimento industrial das cidades de médio porte. A falta de chuva deverá agravar ainda mais esse quadro de escassez e poderá reduzir os níveis de águas dos reservatórios a ponto de deixá-las imprópria para o consumo. Essas são as considerações tangíveis entre oferta e demanda de água.

Ao longo dos anos os reservatórios sofrem outros tipos de perdas de água, as mais significativas devem-se aos processos de infiltração e evaporação. O estudo para avaliar essas perdas é de fundamental importância para a utilização racional e otimizada dos recursos hídricos disponíveis. Em tempo, aqui será estudada a perda por evaporação.

A evaporação potencial é definida como a perda de água para a atmosfera de uma superfície líquida exposta livremente às condições ambientais. Essa variável sido usada por mais de cinco décadas como um parâmetro hidrológico. Em 1948 ela introduzida por Thornthwaite no contexto de classificação climática para fazer a distinção entre a quantidade de água que realmente evapora, daquela que poderia evaporar se estivesse disponível. Embora o conceito de evaporação potencial tenha sido desenvolvido como um índice climático, hoje é utilizado na agricultura para controlar o uso eficiente da água nos projetos de irrigação e pelos hidrólogistas como mais um índice que dá acesso ao conhecimento da evaporação real. Neste trabalho, a palavra evaporação designa evaporação potencial visto o interesse aqui e o de avaliar as perdas evaporativas a partir de uma superfície líquida.

Nos últimos trinta anos parte das pesquisas em recursos hídricos relacionadas à evaporação têm merecido grande destaque. Devido o aumento da demanda por água, nos dias de hoje, é grande a preocupação das principais autoridades mundiais com relação a quantidade, qualidade e conservação dos recursos hídricos.

Uma forma bastante simples de conservar água no reservatório (evitar que ela evapore) pode ser implementada pela construção de barreiras físicas em torno do reservatório. Essas barreiras reduzem a velocidade do vento e a advecção sobre a superfície hídrica e, conseqüentemente, altera o gradiente de pressão de vapor de água local. Uma outra técnica para reduzir as perdas evaporativas de reservatórios superficiais consiste em colocar uma barreira física (cobertura flutuante ou substância química) entre a superfície evaporante e o ar. Essas técnicas de conservação de água devem ser entendidas como medidas auxiliares para o planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos da região semi-árida nordestina.

O objetivo deste trabalho é o de apresentar uma técnica prática que seja capaz de reduzir a perda de água de um reservatório pelo processo de evaporação. Essa técnica resume-se na cobertura, com telas plásticas, da superfície evaporante. Essa cobertura reduzirá a radiação solar ou energia calorífica recebida pela superfície de água e conseqüentemente o gradiente de pressão do vapor de água.

## **2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2. 1 – Interpretação física da evaporação**

É através da teoria cinética da matéria que se pode entender melhor a transferência natural de água da superfície do globo terrestre, no estado líquido, para a atmosfera no estado gasoso. No estado líquido da matéria as moléculas apresentam-se com uma energia de ligação ou força de atração entre elas, menor do que no estado sólido. Nos gases, a energia de ligação das partículas é ainda menor e suficiente, em certas circunstâncias, para liberta – las umas das outras.

A evaporação de água, no estado líquido ou sólido, para a atmosfera consiste na libertação das partículas da camada superficial, cuja energia interna de agitação é maior do que a energia de ligação das moléculas da superfície evaporante. Isto é suficiente para vencer as forças de tensão superficial que impedem as moléculas de vapor de água de escaparem para a atmosfera. O número de moléculas que escapam, durante a unidade de tempo, aumenta com a energia cinética média das partículas e, portanto, com a temperatura do corpo evaporante. Entretanto, a evaporação mantém-se até atingir o estado de equilíbrio que corresponde à saturação do vapor de água entre a superfície evaporante e a

atmosfera.

Segundo Pruitt (1961) as advecções, as correntes de convecção provocadas pela diferença de densidade e, pelo deslocamento do ar na camada atmosférica, junto à superfície, resulta na remoção do vapor de água formado. O fenômeno é, portanto, condicionado pela temperatura, pelo déficit de saturação e estado de agitação do ar junto à superfície evaporante e, finalmente pelo estado de equilíbrio (estável, instável ou indiferente) da atmosfera no local e na ocasião considerada. Os parâmetros que estabelecem essas condições são: a temperatura do ar na camada limite junto à superfície evaporante, a pressão atmosférica, a diferença entre tensões de vapor reinantes na superfície evaporante e no nível superior da camada limite, e a velocidade do vento, que modifica a camada limite estabelecendo a importância dos gradientes superficiais da tensão de vapor e da temperatura do ar. Em resumo, as causas primordiais, em termos gerais, responsáveis pela evaporação seriam a temperatura do ar, a umidade do ar atmosférico, a velocidade de deslocamento da massa de ar advectiva e a irradiação solar responsável pelo aquecimento da superfície evaporante.

Ometto (1981) considera que a vaporização consiste em adicionar energia em um volume parcialmente fechado e contendo água. Esse volume de água ganhando energia continuamente, irá ter num momento qualquer uma energia interna tal que resultará uma pressão no líquido maior do que a pressão atmosférica, externa ao volume de água. A tensão superficial sobre o líquido cai, e as moléculas de água são transferidas para a atmosfera levando consigo o calor latente de vaporização. De outra forma, a evaporação, que em condições naturais é o processo que mais ocorre, consiste em adicionar energia a uma superfície aberta ao ar livre contendo água. A energia adicionada à superfície aumenta a energia interna das moléculas de água imediatamente próximas a ela. Essas moléculas adquirem maior energia cinética, conseguem quebrar a ligação com as outras moléculas e escapam para a atmosfera levando consigo essa energia de ligação na forma de calor latente de evaporação.

## **2.2 – Dinâmica da evaporação atmosférica**

Pruitt (1961) afirma que para haver evaporação de água da superfície de um lago ou de um solo é necessária a presença de dois fatores. O primeiro fator é a disponibilidade de energia para converter água líquida em vapor (cada quilograma de água evaporada requer  $L$  Joules de energia, em que  $L$  é o calor latente de evaporação). O segundo é um mecanismo de transporte de vapor de água entre a superfície e a atmosfera. O escoamento do ar atmosférico próximo à superfície (vento), na camada limite superficial, é geralmente turbulento, causando uma mistura eficiente do vapor de água no ar e afastando-o para longe da superfície. Mesmo em condições de vento muito forte, a espessura desta camada normalmente não ultrapassa 15 metros, onde os fluxos de calor, momento, e vapor d'água são considerados constantes com a altura. Nessa camada as interações do ar com a superfície são mais fortes e relativamente rápidas. O ar ao escoar sobre a superfície poderá tornar-se turbulento ou irregular, devido os efeitos de fricção, gerados pela rugosidade da superfície, e os efeitos de estratificação térmica.

Conforme Dyer (1967) a evaporação e a transpiração ocorrem simultaneamente na natureza e não é fácil, distinguir o vapor d'água produzido pelos dois processos. Para estes autores o termo evapotranspiração é usado para descrever o processo total de transferência de água na forma de vapor da superfície. Afirmam que a energia disponível na terra se reparte em fluxo de calor para o solo, fluxo de calor sensível para o ar, fluxo de calor latente de evaporação, fotossíntese e trocas devidas as atividades metabólicas e ao armazenamento dos tecidos das plantas.

Molle (1989) com base em dados do tanque classe A de 11 postos evaporimétricos do semi-árido Nordeste estudou a variabilidade interanual da evaporação e definiu valores com diversas probabilidades de ocorrência à nível mensal, semestral e anual. Verificou uma evaporação anual média de 3m, com



um coeficiente de variação da ordem de 10% e que dois terços da evaporação anual ocorre no período setembro/dezembro.

### **2.3.- Estudos observacionais, numéricos e teóricos da evaporação potencial**

A evaporação média do espelho de água de um determinado lago ou açude tende a ser menor do que a de uma superfície reduzida (tanque classe A, por exemplo). Isso ocorre porque a advecção sobre o lago é diminuída devido o aumento gradativo de umidade sobre a superfície evaporante. Em consequência esse excesso de umidade diminuirá o poder evaporante do ar. Esse comportamento da evaporação foi constatado por Sleight (1917) quando estimava a taxa de evaporação com base em superfícies de água de vários tanques descobertos; os quais foram seis tanques que variaram em diâmetro de 0,305 a 3,66 metros; e em profundidade de 0,08 até 1,75 metros. Em alguns casos o autor usou o tanque enterrado e em outros manteve o diâmetro fixo em 0,61 metro e variou a profundidade. Observou-se que num tanque com 0,305 metro de diâmetro a água evapora cerca de 55 por cento a mais do que num tanque com 3,66 metros de diâmetro, isto é, a queda na taxa de evaporação guarda uma relação exponencial com o aumento do diâmetro do tanque.

Segundo Sleight (1917) a diferença da evaporação entre um tanque de 3,66 metros de diâmetro ( com dimensões de  $10\text{m}^2$  ) e um lago de 6,9 hectares de área não diferiu significativamente. Por outro lado, a evaporação obtida num tanque classe A, que está superexposto às condições de irradiação solar e vento, foi cerca de 50 por cento maior do que a de um tanque enterrado de 3,66 m de diâmetro. Assim, a evaporação do tanque Classe A, com diâmetro de 1,21 metros de diâmetro, equivale a evaporação de um tanque enterrado de 0,30 metro de diâmetro. Ficou também evidente que para se estimar a evaporação de um lago, a partir de um tanque de diâmetro menor do que 3,66 metros, é preciso

estabelecer coeficientes, representado na literatura atual por  $K_p$  (coeficiente do tanque).

Existem diversos tipos de tanques para estimar a evaporação., sendo os mais comuns os seguintes: tanque Classe A( diâmetro de 1,21m) , GGI-3000 ( diâmetro de 0,61m e que geralmente são enterrados no solo) e 20m<sup>2</sup>. Inúmeras são as modificações e adaptações desses tanques principalmente do Classe A Baseados em diversos trabalhos com tanques de evaporação Gangopadhyana *et al.* (1966), listou 27 tanques de evaporação, com diferentes características e de grande diversidade de aplicação. Segundo Chang (1968), o tanque classe A incorpora os efeitos de todos os elementos meteorológicos que atuam no processo evaporativo e, por esse motivo, permite estimativas, a curto prazo, mais acuradas do que fórmulas empíricas, em contra partida, os tanques CGI-3000 apesar de terem diâmetro menor que o do tanque Classe A, representam melhor a evaporação em reservatórios, por serem enterrados. Oliveira (1971), utilizando o tanque de 20 m<sup>2</sup> como padrão, nas condições de clima tropical em Piracicaba-SP, obteve os seguintes coeficientes: para o tanque classe A , variação de 0,67 a 0,89, com média de 0,78 e para o tanque GGI-3000 de 0,88 a 1,04, com média de 0,96.

A evaporação do tanque classe A é uma medida do efeito integrado da irradiação solar, velocidade do vento, temperatura do ar e umidade relativa do ar sobre a evaporação de uma superfície de água livre. A medida da evaporação da superfície da água em reservatório padrão, têm sido largamente usada para estimar a evapotranspiração de culturas, por estar disponível em qualquer estação climatológica (Doorenbos & Pruitt, 1977). Hanson & Rauzi (1977), estudando a evaporação em tanque classe A em dois locais próximo a planícies no Arizona, observaram que os tanques protegidos do vento por quebra ventos constituídos de árvores apresentaram evaporação cerca de 14% menor que aqueles não protegidos.

Segundo Gangopadhyana *et. al.* (1966) a estimativa da evaporação em lagos, utilizando tanques de evaporação, torna-se mais consistente quando se

considera alguns aspectos climáticos que podem afetar o coeficiente do tanque Classe A. Assim, o coeficiente 0,7 é utilizado quando as temperaturas do ar e da água do tanque são iguais. Quando a temperatura média da água é menor do que a do ar, caso específico dos climas quentes e áridos, aplica-se o coeficiente 0,6. Para climas úmidos, onde a temperatura média da água no tanque é maior do que a do ar, utiliza-se o coeficiente 0,8.

Medeiros *et al.* (1997) ao estudarem as relações entre a evaporação medida em dois tipos de tanque (classe A e minitanque), no interior de estufa e em estação meteorológica, obtiveram altos coeficientes de correlação para as relações avaliadas, e observaram que em média o minitanque evaporou 15 % a mais que o tanque classe A.

Stewart & Rouse (1976) estudando a evaporação no verão, de lagos e tanques em Hudson onde Bay, usando a razão de Bowen e um balanço de radiação descobriram que 55% da irradiação solar foi utilizada no processo evaporativo. Estes autores comparando os resultados obtidos para lagos com os estimado pela equação de Priestley e Taylor (1972), e mostraram que a evaporação para lagos e tanques pode ser estimada pela irradiação solar e pela temperatura do ar.

Slayter & Mcilroy (1961) estimaram a evaporação em lagos considerando alguns parâmetros meteorológicos: temperatura do ar, umidade, saldo de radiação na superfície do lago. A partir da seguinte observação: quando o ar que paira sobre uma superfície úmida torna-se saturado, a equação de Penman será modificada. Sendo assim consideram-se apenas os parâmetros como temperatura da superfície do lago, temperatura do ar, saldo de radiação na superfície do lago, fluxo de calor entre a superfície de um lago e a massa de água abaixo desta, constante Psicrométrica e o calor latente de evaporação. Portanto na prática, a atmosfera sobre uma superfície úmida, tal como em lagos e oceanos, em condições de vento, contribui para o aumento da taxa de evaporação, principalmente quando o vento sobre essa superfície é seco e

quente. Os autores apontam que, nos casos, onde não considera os efeitos convectivos., a estimativa da evaporação em lagos tendem a ser subestimadas.

Kohler e Parmele (1967) revisaram as técnicas para estimar a evaporação em superfície de água. Essas técnicas utilizam-se de observações meteorológicas tais como temperatura do ar, temperatura do ponto de orvalho, velocidade do vento, irradiação refletida, radiação global, saldo de radiação e pressão de vapor sobre a superfície de água. Como resultado, eles apresentaram uma correção para o coeficiente psicrométrico ( $\gamma$ ) a fim de compensar a igualdade considerada entre a temperatura do ar e a temperatura da água na equação de Penman.

Priestley & Taylor (1972) apresentaram uma formula empírica extremamente bem sucedida para estimar a evaporação em superfícies de água. Este modelo estima a evaporação em lagos rasos a partir da temperatura da superfície da água, radiação solar líquida, parâmetro de Priestley e Taylor que foi formulado considerando diversos testes em vários lagos sobre inúmeras situações chegando a uma constante de 1,26, além dos coeficientes a e b que variam sazonalmente. Portanto a vantagem deste modelo é que a evaporação pode ser estimada basicamente com o conhecimento do saldo de radiação e temperatura da superfície da água. Tais resultados foram considerados satisfatórios por De Bruin Keijman (1979), depois de inúmeras confirmações no lago Frevo, no Canadá nos meses de verão, os quais também foram comparados com a evaporação obtida através do método do balanço de energia.

Keijman (1974) determinou o balanço de energia para um lago com uma área de aproximadamente 4600 hectares e três metros de profundidade, em média. Considerou-se os dados medidos no centro do lago, para o balanço de energia, como os de referência, haja visto que muitos deles foram estimados através de radiômetro, termopares e saldo radiômetro, usados para se obter os componentes do balanço, como temperatura da superfície da água, radiação e outros. Relacionou-se esses componentes com as estimativas realizadas pelo método de Penman (1948) aplicados às estações situadas no perímetro do lago.

Tais resultados possibilitaram uma correlação considerável entre as componentes do balanço medido e estimado, como saldo de radiação e fluxo de calor latente. O erro resultante foi de  $0,6 \text{ mm dia}^{-1}$ , ao se estimar a evaporação do lago. Tais resultados dependem, no entanto, da direção do vento e da localização da estação em estudo.

Dentre os métodos que se pode utilizar para estimar a evaporação em superfícies de lagos destacam-se os que consideram o balanço de energia. Um deles é o de Linacre (1977) que objetiva estimar a evaporação de um lago através de algumas simplificações no método de Penman. Nesse método apenas com a temperatura média do ar e as coordenadas geográficas do local pode-se estimar a evaporação de um lago. Tal método foi implementado por Lincre em 1993 tendo em vista a disponibilidade dos dados de precipitação e velocidade do vento, onde este primeiro ira auxiliar no calculo da irradiação solar, baseando-se no princípio de que as nuvens interferem na transmitância da irradiação solar e o segundo na advecção de energia.

De Bruin (1978) combinou o modelo de Priestley e Taylor com a equação de Penman para estimar a evaporação de água de lagos rasos. Nesse modelo, que representa uma equação semi-empírica, o termo aerodinâmico é substituído pelo parâmetro de Priestley e Taylor  $\alpha = 1,26$ . O autor afirma que ele poderá representar o balanço de energia na superfície do lago. O método foi testado em um lago com área de  $400 \text{ Km}^2$  e profundidade média de 3 metros. Os resultados obtidos para período de dez a vinte dias foram satisfatórios.

Bruin e Keijman (1979) aplicaram o modelo de Priestley e Taylor (1972) para determinar a evaporação do lago Frevo, no Canadá com uma área de  $460 \text{ km}^2$  e profundidade média de três metros. Em seguida compararam os valores observados da evaporação diária, no período de julho a setembro 1967, com os valores estimados pelo modelo. As análises dos resultados mostraram, em conclusões preliminares, que o parâmetro de Priestley e Taylor ( $\alpha$ ) possui uma variação sazonal. Dessa forma, existe uma relação linear entre o fluxo de calor latente LE e o fluxo de calor latente de equilíbrio  $LE_{eq}$ .

Morton (1979) utilizou um modelo baseado nas observações da temperatura do ar, na temperatura do ponto de orvalho e na irradiação solar para estimar a evaporação sobre lagos. A adequabilidade do modelo é testada pela comparação da estimativa do balanço de água, anteriormente estabelecida em publicações, para os lagos Hefner em Oklahoma, Pyramid e Winne Mucca em Nevada, Silver e Salton Sea, na Califórnia dentre outros da região. Os resultados, após a aplicação do modelo, apresentaram valores bem sucedidos e serviram para otimizar o estabelecimento de coeficientes locais. Observou-se também que as mudanças do albedo e da emissividade térmica pode modificar os resultados encontrados pelo modelo, seja para a estimativa de evaporação de lagos rasos ou qualquer outro lago. Constatou-se também uma boa concordância entre a estimativa de armazenamento de água e a evaporação do lago.

Dantas *et. al.* (1994) projetou e construiu radiômetros solares para medir a irradiação incidente sobre água e estudar o seu comportamento no meio aquoso. Desenvolveu três radiômetros com as mesmas configurações, um deles para medir a irradiação solar global e irradiação solar refletida, um albedômetro e um detector para medir a irradiação transmitida na água. Esses radiômetros foram instalados em uma represa (22°54' S, 48°25' W) na Faculdade de Ciências Agrônomicas da UNESP em Botucatu – SP. O piranômetro foi posicionado na margem da represa, o albedômetro no centro e a um metro de altura do nível da água e o radiômetro aquático a um metro de profundidade. Esse experimento foi realizado no período de julho de 1991 a dezembro de 1994, em intervalos de 18 dias. As curvas das três irradiâncias: global, refletida e transmitida foram obtidas por meio de um registrador potenciométrico, do nascer ao por do sol. Como resultado, constatou-se que as energias diárias de irradiância transmitida a um metro sob a água possui intensidade muito reduzida chegando a um máximo de 4,7 % e um mínimo de 1,5 %; para as energias refletidas os resultados variaram entre 8,5 % e 5,1 % e para a energia absorvida pelo extrato de água é da ordem de 90%, da radiação solar global incidente, sendo esta parcela responsável pelo aquecimento da água da represa.

Dantas *et. al.* (1999) determinaram o albedo da água de uma represa. Para medir a irradiação solar global e refletida, os autores utilizaram dois piranômetros idênticos, um deles foi instalado em um suporte a um metro da superfície do lago, com o sensor voltado para a superfície da água, atuando como albedômetro e o outro com o sensor direcionado de forma inversa, na margem do lago, de tal forma que recebesse a mesma irradiância que o outro instrumento, sobre a superfície da água. Os radiômetros foram instalados na área experimental do Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP, campus de Botucatu - SP. As medidas foram realizadas nos dias 05/07, 24/07, 15/08, 05/09, 22/09, 12/10, 30/10, 21/11, 04/12 e 21/12, período compreendido entre os solstícios de inverno e de verão do Hemisfério Sul. Os resultados desse estudo são os seguintes: os percentuais para a energia refletida variaram de 5,1% a 8,5%, tendo média percentual de 6,6% como poder refletor ou albedo da superfície represa. As utilizações das energias totais diárias permitiram cálculos de albedos médios diários, sem ocorrer nos valores exagerados, encontrados nas determinações quando são utilizadas as irradiações solar em instantes próximos ao nascer e ao pôr do sol.

#### **2.4 - Técnicas para reduzir a evaporação sobre reservatórios naturais e artificiais**

O controle da evaporação é um método atrativo de conservação de água. Ele consiste, basicamente, na redução da irradiação solar ou energia calorífica recebida pela superfície da água, na redução do gradiente de pressão do vapor de água e na redução da velocidade do vento próxima à superfície evaporante.; através da construção de barreiras físicas em torno do reservatório ou entre a superfície evaporante e o ar (cobertura flutuante ou substância química ).

Nos países mais desenvolvidos essa técnica já vem sendo pesquisada há muito tempo e, de um modo geral, todos os pesquisadores obtiveram bons resultados com a mesma. Silveston (1965) utilizou filmes monomoleculares, na cobertura de lagos, para reduzir a evaporação. Em seguida examinou a redução dos custos do armazenamento de água devido à redução evaporativa. Wixson & Davis (1967) verificaram o aumento do número de bactérias e redução da difusão do oxigênio de 10 a 15% após cobrir a superfície da água do reservatório com hexadecanol. Eles notaram, ainda, que inicialmente o crescimento das algas diminuiu, mas após algum tempo, o crescimento estabilizou-se porque a biodegradação do filme serviu de nutriente para as algas.

Brent (1967) utilizou vários tipos de cobertura (polietileno, madeira, lâmina de alumínio e concreto) na superfície da água, para estudar a relação custo-benefício de cada um desses materiais na redução da evaporação de pequenos reservatórios localizados em climas secos do Estado do Arizona-USA. Shanmugam (1968) conseguiu reduzir a evaporação de 20 a 25% em um reservatório de água na Índia. Na região estudada a perda de água pelo processo evaporativo é de aproximadamente 2000 mm/ano. Lapp (1968) apresenta revisão das propriedades físicas dos materiais utilizados nos métodos de redução da evaporação de lagos e reservatórios. Utiliza cinco métodos e conclui que o melhor deles é o que mistura hexadecanol e octadecanol. Miers & Frasier (1970) determinaram as possibilidades de redução da evaporação utilizando vários tipos de materiais, inclusive variações de cores. Beard & Gainer (1970) avaliaram a influência da reflectância da irradiação solar na evaporação da água utilizando vários filmes monomoleculares, coloridos artificialmente, além de três líquidos capazes de formar filmes monomoleculares. Ele avaliou a reflectância dos compostos colocando-os dentro de um reflectômetro. Observou-se um decréscimo da evaporação da água com o aumento da reflectância solar incidente sobre os filmes monomoleculares, tendo melhores resultados àqueles formados por partículas de silicone.

Garrett (1971) utilizou filmes monomoleculares para reduzir a evaporação de um corpo de água. Segundo o pesquisador, o processo de



formação de pequenas ondas na superfície do corpo de água intensifica a transferência de vapor de água para a atmosfera. A vantagem desses filmes é que eles suportam a força de fortes ventos à superfície da água e evitam a formação de ondas. Chooley & Cluff (1972) utilizaram sólidos flutuantes e materiais granulados para reduzir a perda por evaporação da superfície da água. Eles verificaram que esses materiais são mais eficientes do que os filmes monomoleculares. Essa eficiência, segundo os autores, deve-se a alta refletividade dos materiais utilizados à irradiação solar incidente. Crow (1973) utilizou sobre a superfície da água do reservatório, painéis de alta refletividade à irradiação solar incidente. O autor cobriu 48% da área do reservatório e conseguiu reduzir a evaporação em 35%.

Por sua vez Desai & Tople (1990) controlaram as perdas evaporativas em pequenos lagos ou reservatórios nas regiões áridas e semi-áridas da Índia, usando álcool ceto-steril : uma mistura de álcoois gordurosos saturados. Esse produto foi espalhado sobre as águas para formar uma superfície orgânica monomolecular. Essa superfície de álcool estéril não só reduz a evaporação, como também previne a proliferação de mosquitos sobre a água. Doses acima de 70 g/cm<sup>2</sup> pode reduzir as perdas evaporativas em até 55%. Esse produto, além de não ser tóxico ou inflamável, não altera a qualidade da água destinada ao consumo. Entretanto, esses álcoois gordurosos, produzidos a partir do sêmen de baleias ou de um redutor de sódio da gordura animal, não são encontrados com facilidade e sua produção e controle de qualidade necessita de um grande aparato tecnológico.

Venalainer et al. (1998) avaliam a influência de uma floresta densa no fluxo de calor latente sobre as superfícies dos lagos, Tamnarem e Raksjon, de tamanhos diferentes. Nessa pesquisa foram utilizadas torres meteorológicas flutuantes sobre o espelho de água e às margens dos lagos para considerar a influência da floresta. Verificaram que o lago pequeno apresenta um aumento de fluxo de calor latente com o aumento do vento e da umidade. Considerando a influência da floresta, o valor desse fluxo diminui. Para o lago grande, a influência

da floresta sobre o fluxo de calor latente é quase irrelevante, no entanto, é preciso considerá-la para não se obter resultados equivocados.

### **3 - MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 – Descrição da região com a área de estudo**

A região Semi-árida, com uma área de 764. 522 Km<sup>2</sup>, corresponde a 46% do território do Nordeste do Brasil. Essa Região apresenta precipitações altamente variáveis no espaço e no tempo, com médias anuais iguais ou inferiores a 800 mm, com valores mais acentuados nas depressões à sotavento. Segundo o Atlas Escolar da Paraíba (1999), depois do Brejo paraibano, em toda porção aplainada elevada da Borborema e nos vales que a cortam, como os do rio Paraíba, Taperoá, Seridó dentre outros, a semi-aridez do clima caracteriza a paisagem. Esse clima, quente e seco, com chuvas de verão, alcança os índices mais baixos de precipitação do Estado, com média anual de 500 mm, temperatura média anual de 26 °C, e umidade relativa do ar não ultrapassando os 75%, em termos gerais. Os municípios de Barra de Santa Rosa e Cabaceiras, na Paraíba apresentam índices médios anuais inferiores a 300 mm, e constituem, juntamente com Acari, no Rio Grande do Norte, o “triângulo mais seco do Brasil”.

### 3.2 – Descrição da área experimental

O experimento de campo para avaliar as perdas evaporativas e mensurar as variáveis meteorológicas que influenciam direta ou indiretamente à evaporação foi instalado, por falta de recursos financeiros e disponibilidade dos equipamentos, na Estação Meteorológica do Departamento de Ciências Atmosféricas, no Campus II da Universidade Federal da Paraíba, situado na cidade de Campina Grande – Pb ( latitude 7°13'S, longitude 35°53'W, altitude 547 m), Figura 1, localizada na região do Agreste da Borborema, parte integrante da região semi-árida nordestina. A classificação climática do Agreste é também do tipo quente e seco. Apresenta temperatura média anual de 23,3 °C, com máxima de 27,5 °C e mínima de 19,2 °C, em média. Normalmente, o período chuvoso é de março a julho com pluviosidade média anual de 750 mm (Atlas Escolar da Paraíba, 1999).

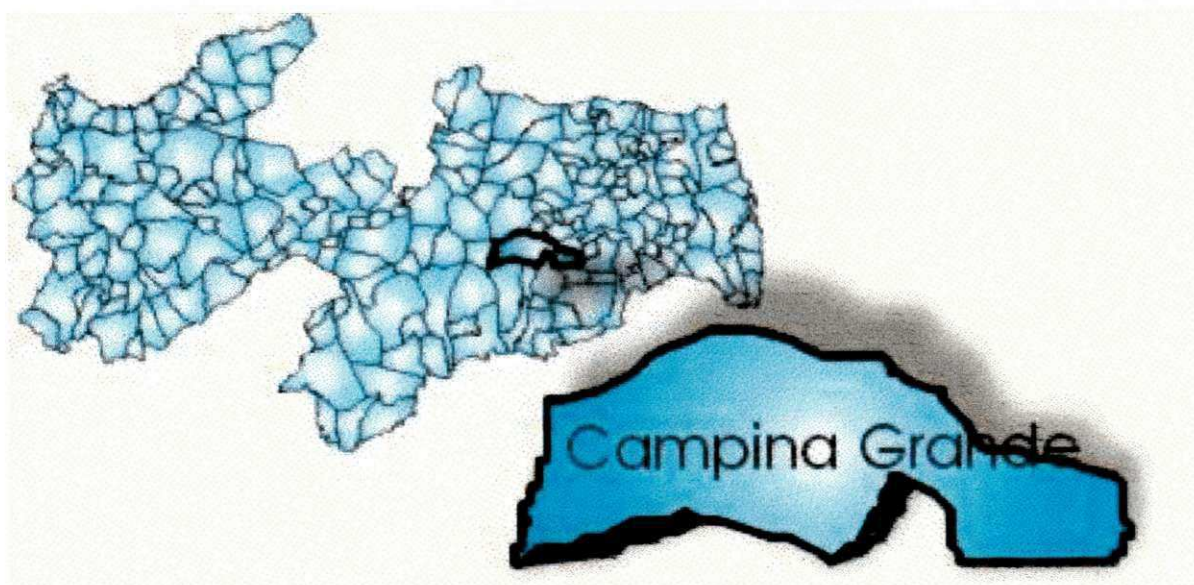


Figura 1 – Localização de Campina Grande no Estado da Paraíba.

### 3.3 - Instrumentos meteorológicos utilizados neste experimento

i) dois piranômetros PSP;



ii) um saldo-radiômetro (REBS);



iii) um sistema automático de aquisição de dados (microloggers 21x);



iv) dois sensores de temperatura à base de termopares, constituídos de cobre constantan);

v) um psicrômetro à base de termopares;



vi) um anemômetro tipo langue à dois metros da superfície evaporante;



vii) um anemômetro analógico à dois metros da superfície evaporante;



viii) um anemômetro analógico à meio metro da superfície evaporante;



ix) um tanque classe A.



### **3.4 – Descrição do modelo físico**

Nesta pesquisa utilizou-se o tanque de cimento amianto com 1,07 metros de diâmetro e 0,67 metros de profundidade. Devido a constituição do seu material (amianto) e a forma como foi instalado, enterrado no solo, acredita-se que a sobrestimativa da evaporação seja fortemente minimizada, ou seja, acredita-se que o tanque de cimento amianto apresenta menor sensibilidade aos efeitos da irradiação e portanto cause menos interferência na estimativa da evaporação. Em consequência, espera-se obter resultados mais representativos dos valores da variável evaporação. Ao contrário do tanque classe A, que é construído de chapa de ferro galvanizada número 22, com 1,21 metros de diâmetro e geralmente é usado nas estações meteorológicas, devido a sua geometria e disposição sobre a superfície do solo esse tanque recebe irradiação solar global nas suas paredes e no fundo. Por ser metálico tem boa condutividade térmica, em consequência apresenta perda excessiva de água por evaporação, isto é, uma sobrestimativa dos valores da variável evaporação, segundo Ometto (1981).

A Figura 2 mostra as instalações dos tanques de cimento amianto com capacidade de 500 litros. Esses tanques ou sistemas fechados foram enterrados no solo, ficando de fora apenas cinco centímetros de suas bordas. Pode ser visto, no primeiro plano, um tanque descoberto e no segundo o outro tanque coberto por uma tela de náilon.



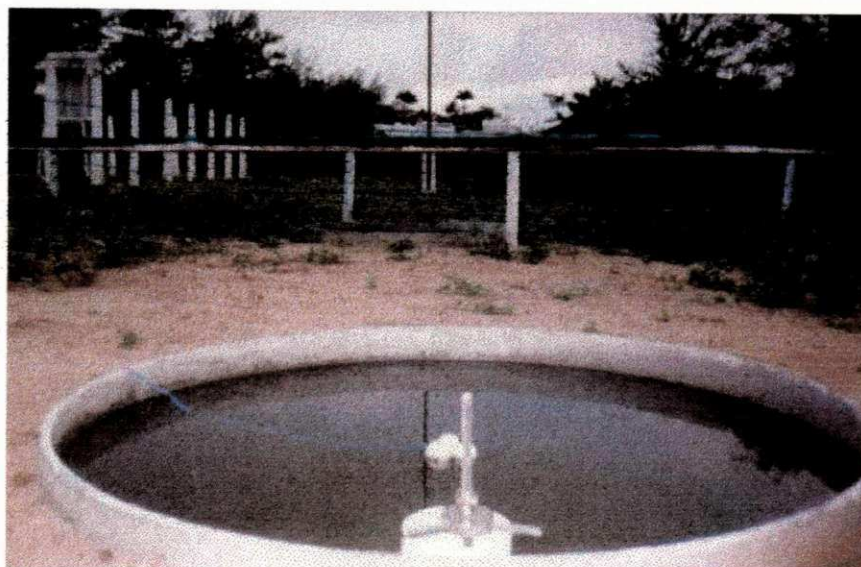
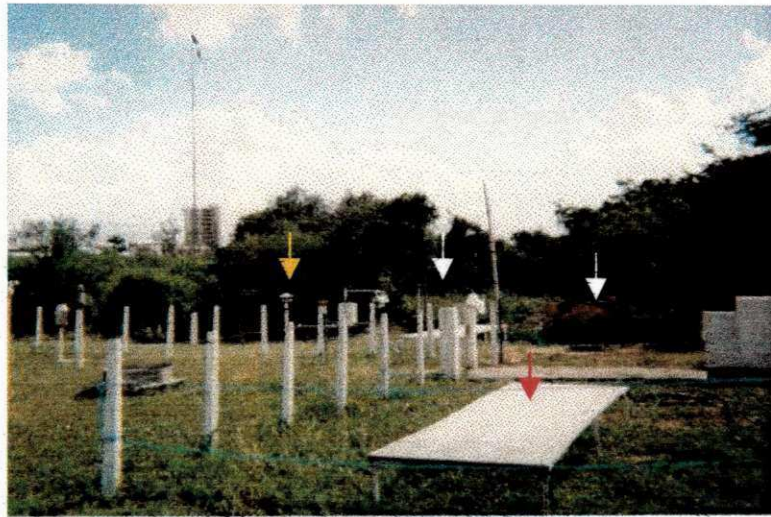


Figura 2 Tanques de cimento amianto enterrados com cinco centímetros de borda acima do solo e descoberto (primeiro plano) e coberto com tela plástica (segundo plano), em ambos encontram-se um sensor de temperatura na superfície da água e um micrometro.

### 3.5 – Descrição do experimento

Na primeira fase do experimento um dos tanques e o piranômetro foram cobertos com telas plásticas brancas, Figura 3a, com dimensão de 4,80 metros de comprimento e 1,50 metros de largura e orifícios de 0,2 cm, instalados a 0,5 metro de altura da superfície e, na segunda fase com telas plásticas verdes, Figura 3b, com mesma dimensão e altura da superfície. O comprimento da tela plástica foi orientado na direção leste—oeste para evitar que os raios solares, ao nascer e pôr do sol, alcançassem a água e o elemento sensível do piranômetro debaixo dela. Este por ser muito sensível e não ser apropriado para água, foi instalado em terra firme próximo aos tanques sob tela como indica as setas vermelhas nas Figuras 3a e 3b, e um outro piranômetro sobre tela como mostra as setas cor de ouro.



(a)



(b)

Figura 3 Estação meteorológica e as telas branca (Figura 3a) e verde (Figura 3b), no primeiro plano, cobrindo o piranômetro e no segundo o tanque de cimento amianto( indicado pelas setas brancas).

Os valores numéricos de temperatura da superfície da água, do ar atmosférico, da radiação solar global sobre e sob a tela, da radiação solar líquida e da umidade do ar foram obtidos através de um sistema automático de aquisição de dados denominado microloggers 21x, visto na Figura 4, programado para fazer leituras a cada cinco segundos e armazenar o valor médio a cada dez minutos. As leituras feitas nos instrumentos de medidas convencionais (micrômetro e o anemômetro a meio metro de altura), na primeira fase do experimento, foram



efetivadas em intervalos de três horas, mais precisamente nos horários de 06:00, 09:00, 12:00, 15:00 e 18:00 horas. As variáveis meteorológicas observadas foram as seguintes: velocidade do vento a 0,5 e 2,0 metros da superfície evaporante, perdas evaporativas no tanque coberto com tela, no tanque descoberto e no tanque Classe A. O mesmo procedimento foi realizado para a segunda fase do experimento, com a tela verde, sendo as leituras realizadas a intervalos de seis horas, nos horários de 06:00, 12:00 e 18:00 horas.



Figura 4 Sistema automático microloggers 21x de aquisição de dados (seta vermelha) e os sensores de umidade (seta laranja), temperatura do ar (seta laranja), velocidade do vento (seta azul) e saldo de radiação (seta amarela)

As leituras da evaporação nos tanques de amianto e da velocidade do vento foram feitas a cada 3 horas no período diurno a princípio para identificar os horários de maior potencial evaporativo e assim cruzar estas informações com os demais parâmetros meteorológicos que foram medidos e armazenados automaticamente no sistema de aquisição de dados, tentando então averiguar a atuação deste nos horários de maior evaporação. Mas no transcorrer do experimento constatou-se que neste período a evaporação era muito pequena, podendo até não ser detectado pelo instrumento além de dificultar a leitura ao

ponto de induzir o observador ao erro. Portanto para Segunda fase do experimento optou-se por leituras em intervalos de 6 horas.

### 3.6 - Coeficiente de correlação linear (CCL)

Para avaliar, quantitativamente, o grau de correlação entre cada uma das variáveis estudadas ( vento, umidade relativa do ar, irradiação solar entre outras) e o processo da evaporação, calculou-se o CCL. Segundo Spegel (1974) o CCL é dado por:

$$r = r(x, y) = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \sum (y_i - \bar{y})^2}} = \frac{S_{xy}}{\sqrt{S_{xx}S_{yy}}} \quad (3.1)$$

Supondo que a amostra segue uma distribuição t-Student, pode-se aplicar o teste de hipótese para avaliar os limites de confiança do CCL. Esse teste é dado por:

$$t = \frac{r\sqrt{N-2}}{\sqrt{1-r^2}} \quad (3.2)$$

em que r estima o CCL de uma população teórica ( $\rho$ ) e N é o tamanho da amostra. A estatística t tem distribuição de Student, com  $\nu = N-2$  graus de liberdade para um dado nível de significância (NS) de 5% . Por ser um teste bilateral, e considerar-se um NS = 5 %, teremos uma região crítica (RC) correspondente á  $RC = ] - \infty ; -1,7 [ \cup ] 1,7 ; + \infty [$ . Sendo assim á hipótese poderar ser :

$$H_0: RC < t < - RC$$

$$H_1: - RC < t < RC$$

Portanto aceitar a hipótese  $H_0$  (AH) implica que existir uma correlação linear entre os parâmetros estudados e a evaporação potencial. De forma análoga rejeitar  $H_0$  (RH) indica que não existe correlação entre tais parâmetros.

## 4 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 - Avaliação do efeito da utilização das telas sobre os tanques considerando alguns parâmetros meteorológicos relacionados com a EP

Para avaliar a inter-relação entre alguns parâmetros meteorológicos e a EP, e o efeito da utilização das telas (branca e verde) sobre os tanques foi efetuado um estudo de correlação linear. A Tabela 1 mostra esses parâmetros meteorológicos. As colunas 2 a 8 correspondem respectivamente, a temperatura média do ar ( $T_a$ ), temperatura média da superfície da água ( $T_s$ ), irradiação solar global ( $R_g$ ), saldo de radiação solar (SR), velocidade do vento a dois metros ( $V_2$ ), velocidade do vento a meio metro ( $V_{0,5}$ ), umidade relativa (UR) e evaporação potencial (EP). Esses mesmos parâmetros podem ser vistos na Tabela 2 para o tanque de cimento amianto coberto com tela branca. Nessa Tabela 2 foi medida sob tela branca a temperatura da superfície da água ( $T_{sb}$ ), irradiação solar global ( $R_{gb}$ ), saldo de radiação solar ( $SR_b$ ) e a evaporação potencial ( $Ep_b$ ). Nota-se que a utilização da tela não influenciou significativamente a temperatura média da água sobre a superfície da água. O uso da tela branca reduziu a irradiação solar global e o saldo de radiação respectivamente, em torno de 21 e 25 %.

Tabela 1 - Valores observados e/ou estimados das variáveis meteorológicas na primeira fase do experimento com tanque de cimento amianto

Dias	T <sub>a</sub> (°C) (1)	T <sub>s</sub> (°C) (2)	R <sub>a</sub> (Wm <sup>-2</sup> ) (3)	SR (Wm <sup>-2</sup> ) (4)	V <sub>(2)</sub> (m/s) (5)	V <sub>(0,5)</sub> (m/s) (6)	UR (%) (7)	EP (mm) (8)
28/3	26,64	28,23	418,63	393,51	1,20	0,24	76,78	3,90
29/3	26,67	28,03	497,45	467,60	1,93	0,49	72,88	4,00
30/3	26,67	28,03	497,45	467,60	2,62	0,94	73,40	4,00
31/3	26,36	27,71	488,13	458,84	2,28	0,86	74,13	5,00
1/4	26,26	27,71	472,31	443,97	2,20	0,70	67,80	4,00
2/4	27,27	28,30	541,30	508,82	2,00	0,75	69,54	4,00
3/4	27,16	28,10	510,73	480,08	2,31	0,96	72,28	4,00
4/4	27,53	28,43	491,81	462,30	1,52	0,83	73,46	4,00
5/4	27,05	28,41	437,56	411,31	2,13	0,96	70,00	3,00
6/4	27,54	28,23	474,25	445,80	2,30	1,03	70,00	5,00
7/4	27,36	27,88	507,22	476,79	2,43	1,15	68,71	5,00
8/4	28,20	28,87	570,79	536,54	1,66	0,79	72,86	5,00
9/4	27,43	28,36	451,86	424,75	2,09	1,22	74,21	4,00
10/4	27,06	27,40	439,92	413,53	2,53	1,55	75,65	5,00
11/4	27,76	27,85	461,46	433,77	2,52	1,61	93,91	4,00
12/4	23,77	27,09	286,83	269,62	1,67	0,68	90,92	2,10
13/4	24,34	26,75	294,36	276,69	1,34	0,39	83,26	2,60
14/4	26,58	27,86	493,15	463,56	2,07	1,07	84,11	4,00
15/4	26,73	27,81	460,63	432,99	2,16	1,10	79,91	4,00
16/4	26,98	27,90	500,93	470,87	2,15	1,10	80,95	4,00
17/4	26,84	28,25	558,84	525,31	2,23	1,19	81,50	4,00
18/4	26,84	28,34	513,34	482,54	2,51	0,92	81,31	4,00
19/4	27,16	28,40	472,52	444,17	2,18	0,83	77,35	3,00
20/4	27,58	28,37	519,68	488,50	1,93	0,61	71,29	4,00
21/4	26,96	29,16	540,97	508,51	1,92	0,89	75,74	4,00
22/4	27,07	28,12	468,65	440,53	2,34	0,99	83,94	4,00
23/4	26,20	27,06	339,83	319,44	1,95	0,84	78,67	3,00
24/4	26,88	26,81	396,92	373,10	2,11	1,01	76,10	4,00
25/4	27,41	27,70	467,06	439,03	2,04	1,44	77,39	3,00
26/4	27,85	27,71	451,82	424,71	1,75	0,64	80,03	4,00
27/4	26,66	26,85	334,92	314,83	1,85	0,72	82,98	3,00
Média	26,86	27,93	463,27	435,47	2,06	0,92	77,13	3,77
DP	0,89	0,58	70,32	66,10	0,34	0,23	6,25	0,95

Tabela 2 - Valores observados e/ou estimados das variáveis meteorológicas na primeira fase do experimento com tanque de cimento amianto coberto com tela branca

Dia	T <sub>a</sub> (°C) (1)	T <sub>sb</sub> (°C) (2)	R <sub>qb</sub> (Wm <sup>-2</sup> ) (3)	SR <sub>b</sub> (Wm <sup>-2</sup> ) (4)	V <sub>(2m)</sub> (m/s) (5)	V <sub>(0,5m)</sub> (m/s) (6)	UR. (%) (7)	EP <sub>b</sub> (mm) (8)
28/3	26,64	27,89	339,66	319,28	1,20	0,24	76,78	2,90
29/3	26,67	27,79	394,08	370,44	1,93	0,49	72,88	3,00
30/3	26,67	27,79	394,08	370,44	2,62	0,94	73,40	3,00
31/3	26,36	27,49	398,89	374,95	2,28	0,86	74,13	4,00
1/4	26,26	27,44	385,24	362,13	2,20	0,70	67,80	3,00
2/4	27,27	27,99	449,05	422,11	2,00	0,75	69,54	3,00
3/4	27,16	27,97	424,73	399,24	2,31	0,96	72,28	3,00
4/4	27,53	28,08	393,50	369,89	1,52	0,83	73,46	4,00
5/4	27,05	28,24	354,18	332,93	2,13	0,96	70,00	2,00
6/4	27,54	28,00	375,83	353,28	2,30	1,03	70,00	4,00
7/4	27,36	27,58	399,19	375,24	2,43	1,15	68,71	4,00
8/4	28,20	28,26	454,45	427,18	1,66	0,79	72,86	4,00
9/4	27,43	27,78	347,83	326,96	2,09	1,22	74,21	3,00
10/4	27,06	26,95	342,27	321,73	2,53	1,55	75,65	4,00
11/4	27,76	27,44	353,03	331,85	2,52	1,61	93,91	3,00
12/4	23,77	26,73	219,78	206,60	1,67	0,68	90,92	2,10
13/4	24,34	26,47	229,47	215,71	1,34	0,39	83,26	2,60
14/4	26,58	27,54	388,41	365,10	2,07	1,07	84,11	3,00
15/4	26,73	27,53	355,89	334,53	2,16	1,10	79,91	3,00
16/4	26,98	27,55	387,05	363,83	2,15	1,10	80,95	3,00
17/4	26,84	27,97	425,23	399,72	2,23	1,19	81,50	3,00
18/4	26,84	28,14	395,62	371,88	2,51	0,92	81,31	3,00
19/4	27,16	28,21	368,22	346,13	2,18	0,83	77,35	2,00
20/4	27,58	28,23	399,95	375,95	1,93	0,61	71,29	3,00
21/4	26,96	28,75	422,00	396,68	1,92	0,89	75,74	3,00
22/4	27,07	27,99	365,42	343,50	2,34	0,99	83,94	3,00
23/4	26,20	26,97	257,08	241,65	1,95	0,84	78,67	2,00
24/4	26,88	26,79	305,77	287,42	2,11	1,01	76,10	3,00
25/4	27,41	27,47	358,65	337,13	2,04	1,44	77,39	2,00
26/4	27,85	27,51	342,80	322,23	1,75	0,64	80,03	3,00
27/4	26,66	26,70	249,26	234,31	1,85	0,72	82,98	2,00
MÉDIA	26,86	27,65	363,76	341,94	2,06	0,92	77,13	2,90
DP	0,89	0,54	58,98	55,44	0,34	0,23	6,25	0,81

A Tabela 3 mostra as correlações entre EP e algumas variáveis meteorológicas para os tanques descoberto e coberto com tela branca. Para o tanque descoberto, o saldo de radiações e a irradiação global apresentaram as maiores correlações, 67%. A variável com menor correlação foi a velocidade do vento à meio metro da superfície e a única a ser rejeitada pelo teste de hipóteses, para um NS igual a 0,05. A umidade relativa do ar apresentou uma correlação negativa de 45%. A temperatura da superfície da água e a velocidade do vento à dois metros da superfície apresentaram a mesma correlação de 40%. Em resumo, as variáveis que se mostraram mais importantes no estudo da correlação foram SR,  $R_g$  e a umidade relativa do ar, com valores explicativos de 44,8, 44,8 e 20,2%, respectivamente.

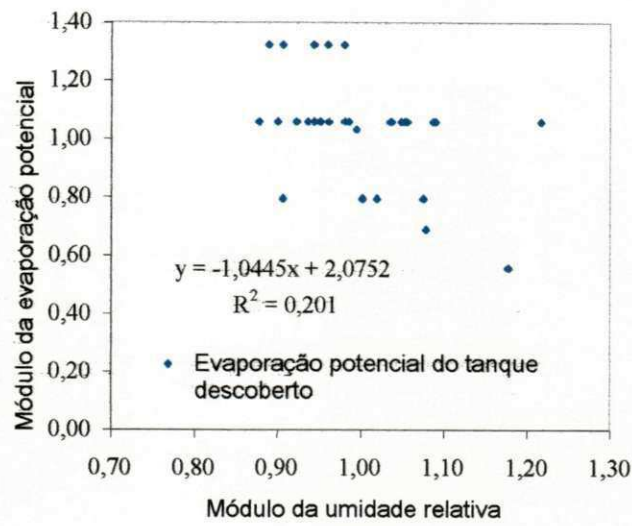
Para o tanque coberto com tela branca as correlações dessas variáveis diminuíram, sendo que SR e  $R_g$  e a umidade relativa do ar continuaram sendo as variáveis que apresentaram as maiores correlações 54%, 54% e 37%, respectivamente. Nesses casos os coeficientes de explicação caíram para 29, 29 e 13,7%.  $T_{sb}$ ,  $V_{(2)}$  e  $V_{(0,5)}$  não foram aceitas pelo teste de hipóteses a um NS de 5%.

Tabela 3 - Correlação entre EP da água do tanque de cimento amianto e algumas variáveis meteorológicas para a primeira fase do experimento

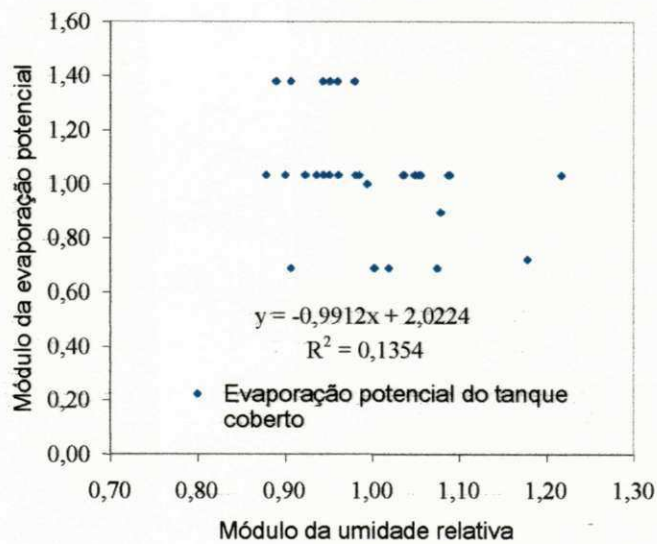
Tanque descoberto						
	SR ( $Wm^{-2}$ ) (1)	$T_s$ ( $^{\circ}C$ ) (2)	$R_g$ ( $Wm^{-2}$ ) (3)	$V_{(2)}$ (m/s) (4)	$V_{(0,5)}$ (m/s) (5)	UR (%) (6)
Correlação	0,67	0,40	0,67	0,40	0,29	-0,45
Teste de hipótese	AH	AH	AH	AH	RH	AH
Tanque coberto com tela branca						
	$SR_b$ ( $Wm^{-2}$ ) (1)	$T_{sb}$ ( $^{\circ}C$ ) (2)	$R_{gb}$ ( $Wm^{-2}$ ) (3)	$V_{(2)}$ (m/s) (4)	$V_{(0,5)}$ (m/s) (5)	UR (%) (6)
Correlação	0,54	0,23	0,54	0,19	0,17	-0,37
Teste de hipótese	AH	RH	AH	RH	RH	AH

A relação em módulo, entre a evaporação da água do tanque descoberto e a umidade relativa do ar, visto na Figura 5a, mostra uma contribuição negativa para a evaporação, com um coeficiente de explicação em torno de 20%. A mesma relação sendo que para o tanque coberto com tela branca, Figura 5b, evidencia uma diminuição no coeficiente de explicação, ficando em torno de 13% e um aumento na correlação linear (Tabela 3). Segundo Ometto (1981), a umidade atmosférica é um dos parâmetros meteorológicos que influencia negativamente (inversamente proporcional) na evaporação de superfícies líquidas, através de tensões superficiais exercidas pela pressão de vapor de água, nesta superfície, podendo reter mais ou menos a evaporação, dependendo das circunstâncias que venham a alterar o gradiente de pressão de vapor na superfície da água. Sendo assim, a presença da tela sobre o tanque sugere uma diminuição na pressão do vapor na superfície da água deste, logo, menos empecilho para evaporação. Pois observa-se na Figura 5a uma correlação linear de -45% e Figura 5b, -37% ; logo esta última indica haver uma menor redução na evaporação da água no tanque em relação ao primeiro.





(a)



(b)

Figura 5 - Relação entre os módulos da evaporação e da umidade relativa do ar para o tanque descoberto (a) e tanque coberto com tela branca (b), para a primeira fase do experimento entre os dias 28/03 e 27/04/1999

Embora teoricamente se saiba que a velocidade do vento à dois metros e meio metro da superfície evaporante contribua de forma significativa para a EP, neste estudo constatou-se que essas duas variáveis não apresentaram um padrão bem definido de correlação, na primeira fase do experimento. Pois segundo Sleight(1917) e Morton (1983b) a advecção é um dos

fatores determinantes na evaporação, tendo a importância e o peso de acordo com as dimensões do reservatório; pois os mesmos constata que a evaporação média do espelho de água de um determinado lago tende a ser menor do que a de uma superfície reduzida, isto porque a advecção será diminuída pelo fato de que o ar, circulando acima do espelho de água, aumenta gradativamente a sua umidade e conseqüentemente diminuirá o seu poder evaporante ; então especificamente para estes experimentos, como os tanques são de dimensões muito pequenas em relação aos lagos, o vento atuara principalmente no transporte de evaporação sobre os tanques, apesar de não se ter caracterizado um "efeito Oásis "(ventos quentes e secos) como nas regiões mais áridas, devido a se constatar neste uma umidade relativamente alta, conseqüentemente tem-se uma umidade um pouco maior acima dos tanques, que de certa forma é levado por ventos "menos úmidos" vindo das áreas circunvizinhas .

A relação entre o módulo da velocidade do vento à dois metros da superfície e a evaporação, para os tanques descobertos (Figura 6a) foi considerável pois apresentou-se uma correlação linear de 40% e foi aceito pelo teste de hipótese (Tabela 3). O tanque coberto com tela branca (Figura 6b) não foi aceito pelo teste de hipótese logo neste caso não existe correlação entre o vento a 2 metros de altura e a evaporação, considerando um NS de 5%. Portanto graficamente (Figuras 6a e b) mostra que não existe uma tendência nítida destes dados a uma reta , denunciando assim a qualidade desta correlação. Avenaliner et al (1998) ressalta a relação existente entre o vento á dois metros de altura e o em superfície, quando considera o transporte de massa, pois gradativamente a velocidade a esta altura influenciará a de altura menor e assim sucessivamente até próximo a superfície evaporante. Para o caso do tanque coberto com tela branca esperasse uma menor influência do vento, já que esta se encontra a meio metro da superfície tornando-se uma barreira para essa influencia indireta da velocidade a 2 metros de altura.

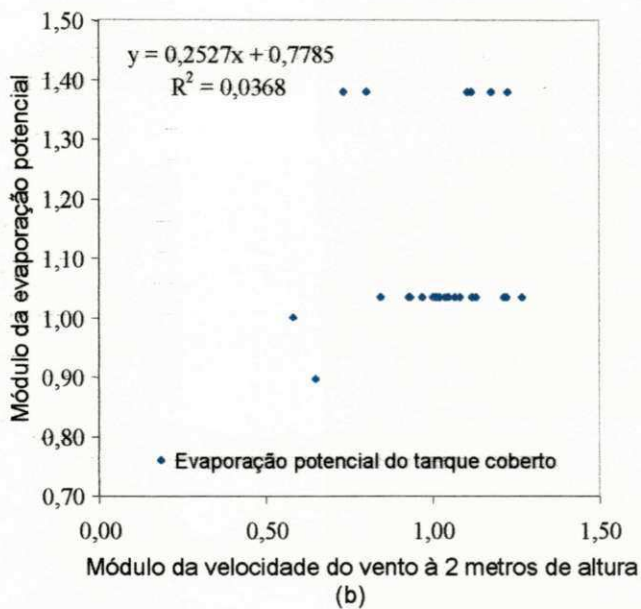
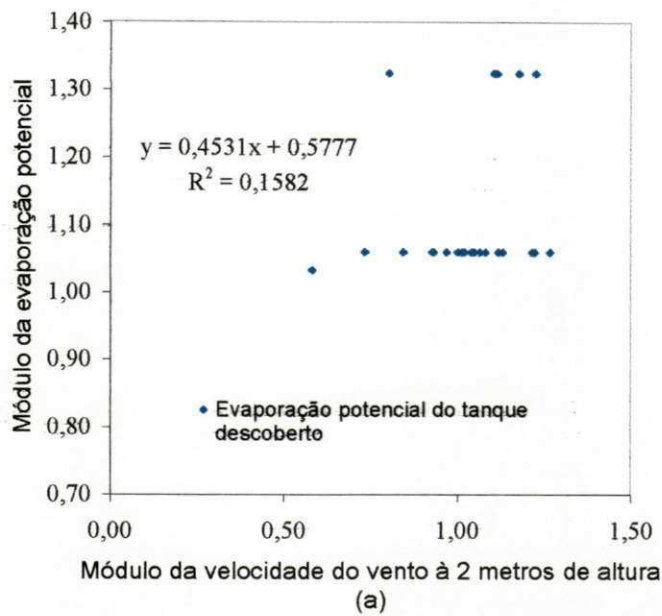
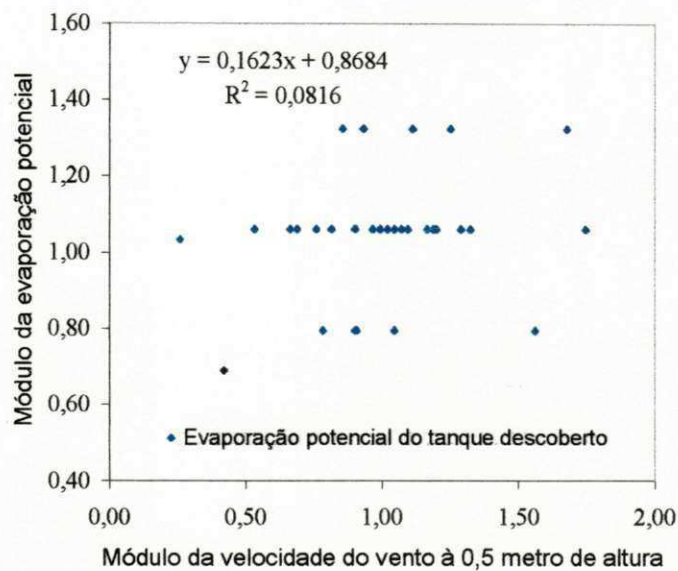


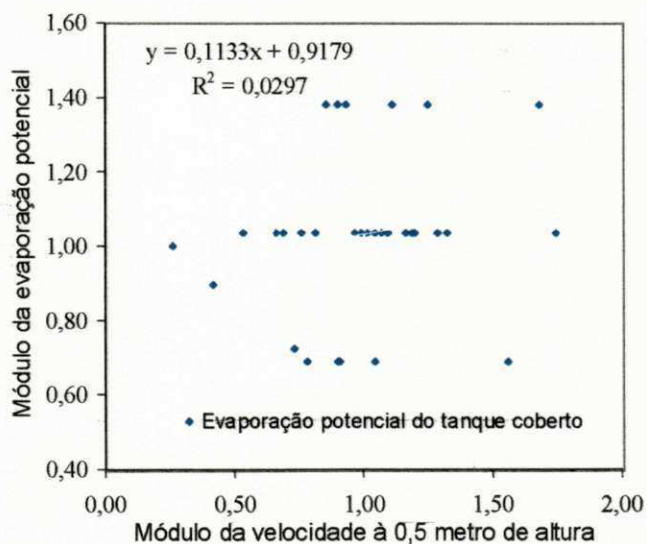
Figura 6 - Relação entre os módulos da evaporação e da velocidade do vento à dois metros de altura da superfície da água, tanque descoberto (a) e coberto com tela branca (b), para a primeira fase do experimento entre os dias 28/03 e 27/04/1999

As Figura 7a e 7b apresentam os gráficos da velocidade do vento a meio metro de altura da superfície, para o tanque sem tela e com a tela branca, respectivamente. Sendo que a um NS de 5% não foi aceite pelo teste de hipótese, implicando que não existe correlação linear entre a velocidade a

este nível e a evaporação tanto para o tanque descoberto como coberto com tela branca.



(a)



(b)

Figura 7 - Relação entre os módulos da evaporação e da velocidade do vento à meio metro de altura da superfície da água (a) tanque descoberto e (b) tanque coberto com tela branca, para a primeira fase do experimento entre os dias 28/03 e 27/04/1999

As Figuras 8a e 8b apresentam os gráficos que relacionam de forma positiva o saldo de radiação e EP. Nota-se na Figura 8b uma leve dispersão dos pontos, quando comparados com os pontos da Figura 8a, com maior correlação em torno da reta. Essa pequena dispersão dos dados deve-se ao efeito de cobertura do tanque.

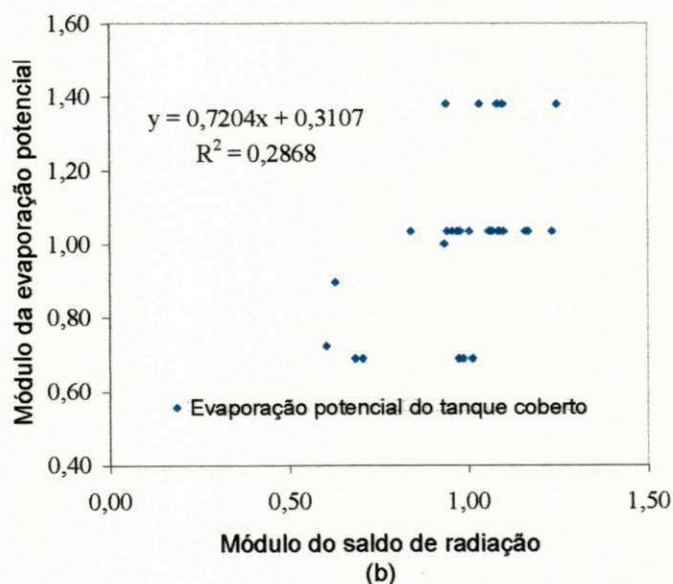
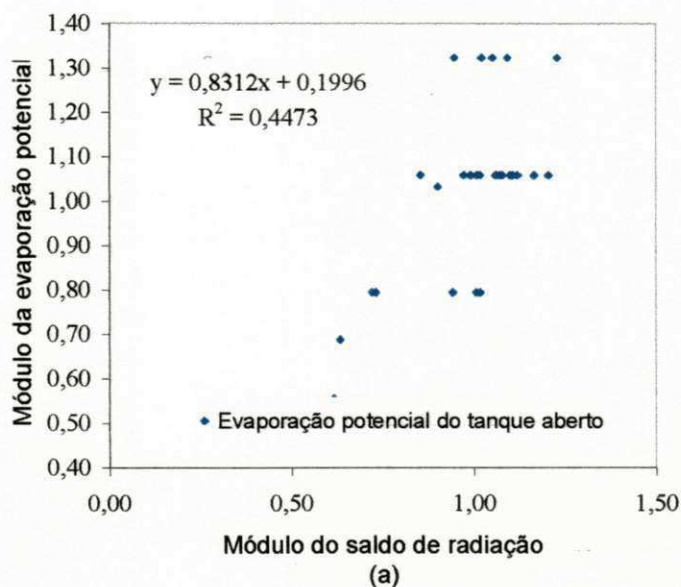


Figura 8 - Relação entre os módulos da evaporação e o saldo de radiação (a) tanque descoberto e (b) tanque coberto com tela branca, para a primeira fase do experimento entre os dias 28/03 e 27/04/1999



De forma análoga, as Figuras 9a e 9b apresentam gráficos que relacionam de forma positiva a irradiação solar global e a EP. Nota-se também que ocorre além da dispersão dos dados, uma queda pela metade, no caso do experimento com tela verde, na explicação dessa variável em relação à EP. Aqui também, pode-se atribuir esse efeito à tela sobre o tanque.

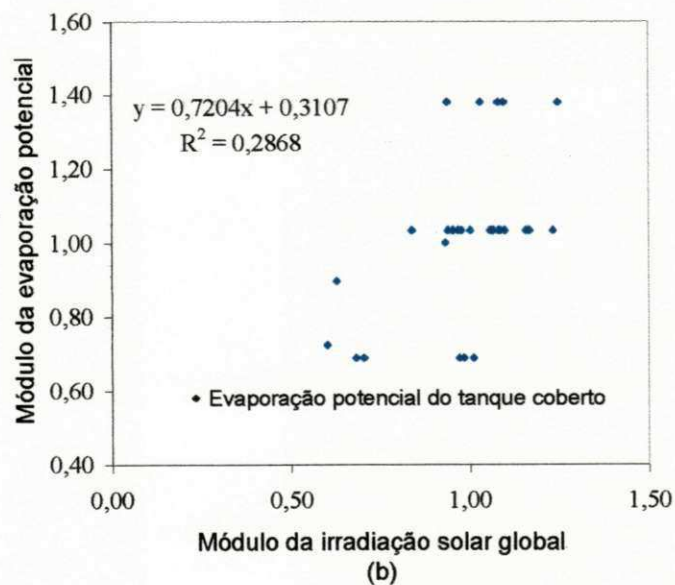
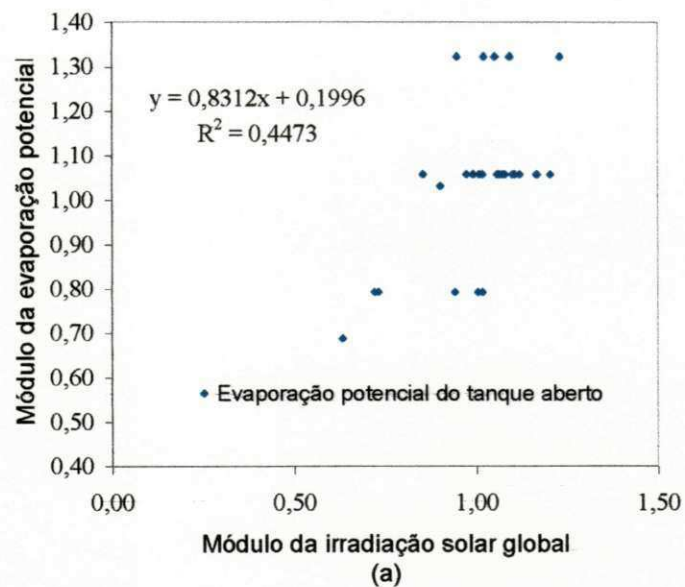


Figura 9 - Relação entre os módulos da evaporação e da irradiação solar global (a) tanque descoberto e (b) tanque coberto com tela branca, para a primeira fase do experimento entre os dias 28/03 e 27/04/1999

O mesmo estudo de correlação foi efetuado com as variáveis meteorológicas da segunda fase do experimento, tanque coberto com tela verde, realizado no período 01/05/ a 13/05/1999. Esses valores podem ser vistos nas colunas 2 a 9, das Tabelas 4 e 5, relativos as seguintes variáveis:  $T_a$ ,  $T_s$ ,  $R_g$ , SR,  $V_2$ ,  $V_{0,5}$ , UR, EP, para o tanque sem tela (Tabela 4). Para o tanque coberto com tela

Tabela 4 - Valores observados e/ou estimados das variáveis meteorológicas na segunda fase do experimento com tanque de cimento amianto

Dia (1)	$T_a$ (°C) (2)	$T_s$ (°C) (3)	$R_g$ ( $Wm^{-2}$ ) (4)	SR ( $Wm^{-2}$ ) (5)	V(2) (m/s) (6)	V(0,5) (m/s) (7)	UR (%) (8)	EP (mm) (9)
1/5	23,77	26,23	289,53	272,16	1,45	0,52	96,68	2,14
2/5	25,91	26,54	451,36	424,28	2,33	1,22	88,35	3,55
3/5	26,05	26,64	380,46	357,63	1,83	0,85	90,47	3,39
4/5	26,34	26,36	396,11	372,34	2,30	1,19	90,70	4,16
5/5	26,30	26,39	373,71	351,29	1,47	0,33	90,96	2,62
6/5	23,03	25,92	222,80	209,43	1,53	0,56	95,45	1,50
7/5	23,19	25,72	263,85	248,02	1,32	0,04	94,03	2,41
8/5	24,13	26,00	325,38	305,86	1,59	0,89	93,21	3,12
9/5	25,28	27,01	498,91	468,98	2,11	1,18	83,97	5,29
10/5	25,10	27,02	424,88	399,39	1,95	1,12	86,04	3,00
11/5	24,67	26,67	378,64	355,92	1,77	1,10	86,79	4,45
12/5	25,44	27,20	497,03	467,20	1,21	0,58	85,52	2,64
13/5	25,70	27,28	361,06	339,39	1,34	0,58	84,98	3,40
Média	24,99	26,54	374,13	351,68	1,71	0,78	89,78	3,21
DP	1,15	0,50	83,93	78,89	0,37	0,38	4,21	1,02

verde (Tabela 5) tem-se os valores das seguintes variáveis sob tela: temperatura da superfície da água ( $T_{sv}$ ), irradiação solar global ( $R_{gv}$ ), saldo de radiação ( $SR_v$ ) e evaporação potencial ( $Ep_v$ ). Observou-se que a utilização da tela não influenciou significativamente a  $T_{sv}$  sobre a superfície da água. O uso da tela verde reduziu as irradiações solar global e o saldo de radiação em torno de 30 %.

Tabela 5 - Valores observados e/ou estimados das variáveis meteorológicas na segunda fase do experimento com tanque de cimento amianto coberto com tela verde

Dia (1)	T <sub>a</sub> (°C) (2)	T <sub>sv</sub> (°C) (3)	R <sub>pv</sub> (Wm <sup>-2</sup> ) (4)	SR <sub>v</sub> (Wm <sup>-2</sup> ) (5)	V <sub>(2m)</sub> (m/s) (6)	V <sub>(0,5m)</sub> (m/s) (7)	UR (%) (8)	EP <sub>v</sub> (mm) (9)
1/5	23,77	26,18	200,48	188,46	1,45	0,52	96,68	1,20
2/5	25,91	26,37	314,79	295,91	2,33	1,22	88,35	1,90
3/5	26,05	26,43	266,77	250,77	1,83	0,85	90,47	2,00
4/5	26,34	26,29	279,02	262,28	2,30	1,19	90,70	2,52
5/5	26,30	26,31	263,18	247,39	1,47	0,33	90,96	1,30
6/5	23,03	25,79	159,33	149,77	1,53	0,56	95,45	0,40
7/5	23,19	25,50	185,61	174,47	1,32	0,04	94,03	2,90
8/5	24,13	25,68	223,43	210,02	1,59	0,89	93,21	2,90
9/5	25,28	26,46	348,82	327,89	2,11	1,18	83,97	3,18
10/5	25,10	26,42	296,63	278,83	1,95	1,12	86,04	1,90
11/5	24,67	26,11	268,55	252,44	1,77	1,10	86,79	2,40
12/5	25,44	26,35	352,50	331,35	1,21	0,58	85,52	1,50
13/5	25,70	26,84	254,23	238,98	1,34	0,58	84,98	2,00
MEDIA	24,99	26,21	262,57	246,81	1,71	0,78	89,78	2,01
DP	1,15	0,36	59,00	55,46	0,37	0,38	4,21	0,79

A avaliação das correlações entre os parâmetros meteorológicos e o EP (Tabela 6), evidenciou correlações significativas: para a velocidade do vento à meio metro de altura, 73%, para saldo de radiação e irradiação solar global, 65%, para a velocidade do vento à dois metros de altura, 64% e para a umidade relativa do ar uma correlação negativa de 67. Todas as correlações para o tanque descoberto foram aceitas pelo teste de hipóteses para o nível de significância de 5%.

Para o tanque coberto com tela verde, ainda na Tabela 6, verifica-se que todas as correlações entre as variáveis que compõe esta tabela e a EP, tiveram uma redução bem considerável, além de não serem aceitas pelo teste de hipóteses, para NS igual a 5%, implicando assim não haver correlações lineares a este NS. Tanto no primeiro quanto neste segundo experimento com tela verde, verifica-se que as correlações caem sensivelmente, para os tanques



cobertos. Ou seja as variáveis explicam melhor a EP quando os tanques estão descobertos.

Tabela 6 - Correlação entre EP da água do tanque de cimento amianto e algumas variáveis meteorológicas para a segunda fase do experimento

Tanque descoberto						
	SR ( $Wm^{-2}$ )	$T_s$ ( $^{\circ}C$ )	$R_g$ ( $Wm^{-2}$ )	$V_{(2)}$ (m/s)	$V_{(0,5)}$ (m/s)	UR (%)
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Correlação	0,65	0,47	0,65	0,64	0,73	-0,67
Teste de hipótese	AH	AH	AH	AH	AH	AH

Tanque coberto com tela verde						
	$SR_v$ ( $Wm^{-2}$ )	$T_{sv}$ ( $^{\circ}C$ )	$R_{gv}$ ( $Wm^{-2}$ )	$V_{(2)}$ (m/s)	$V_{(0,5)}$ (m/s)	UR (%)
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Correlação	0,30	0,09	0,30	0,33	0,32	-0,34
Teste de hipótese	RH	RH	RH	RH	RH	RH

De acordo com esses resultados tem-se indicio que a presença das telas sobre os tanques, principalmente a verde, inibem em maiores proporções os efeitos da irradiação solar sobre a água dos tanques.

A relação modular entre a evaporação da água do tanque descoberto e a umidade relativa do ar pode ser vista na Figura 10a. Essa relação apresenta um coeficiente de explicação de 45% e uma correlação linear de -67%, o que é justificável quando se tem uma umidade relativa média entorno de 89% para o segundo período do experimento . A Figura 10b, apresenta a mesma relação para o

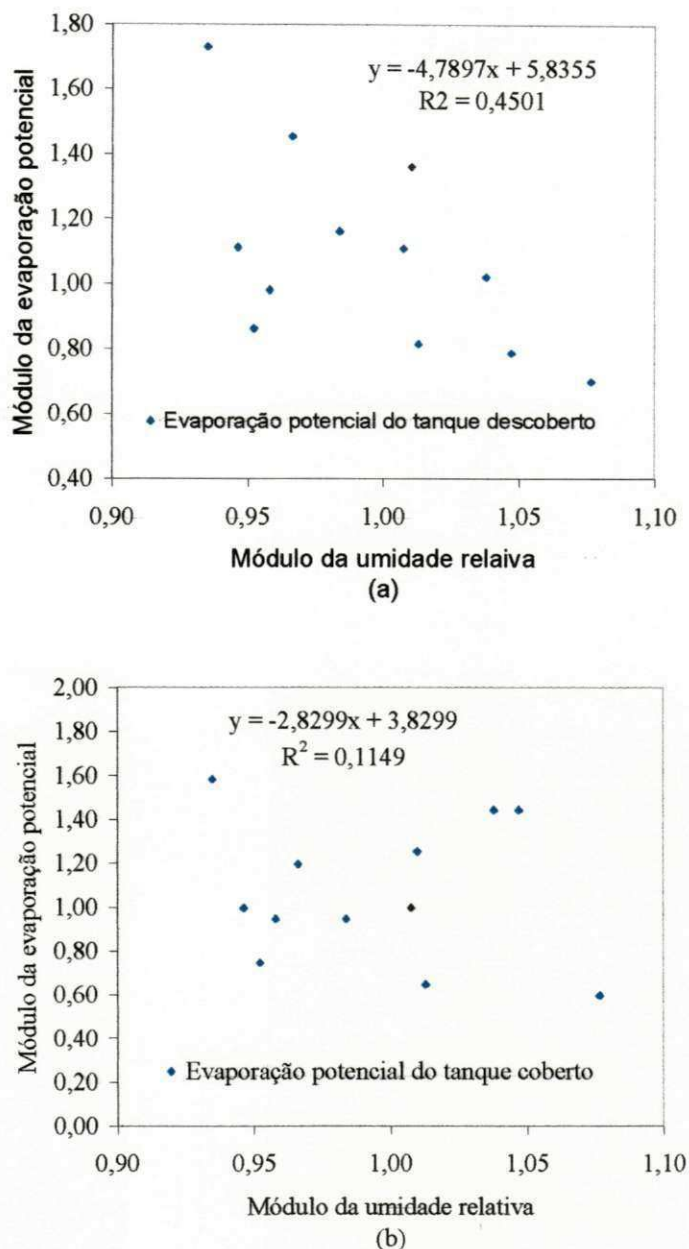


Figura 10 - Relação entre os módulos da evaporação e da umidade relativa do ar para o tanque descoberto (a) e tanque coberto com tela verde (b), para a segunda fase do experimento entre os dias 01/04 e 13/04/1999

Os gráficos referentes a relação do módulo da velocidade do vento à dois metros da superfície evaporante, para o tanque descoberto (Figura 11a) enquanto que no tanque coberto com a tela verde (Figura 11b), não apresentaram correlação linear ao NS de 5%, isto é, foram rejeitado pelo teste de hipótese.

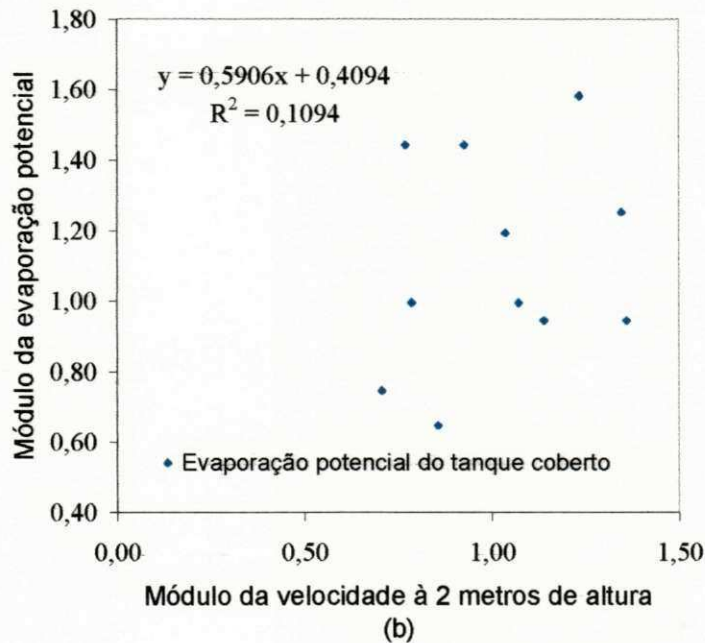
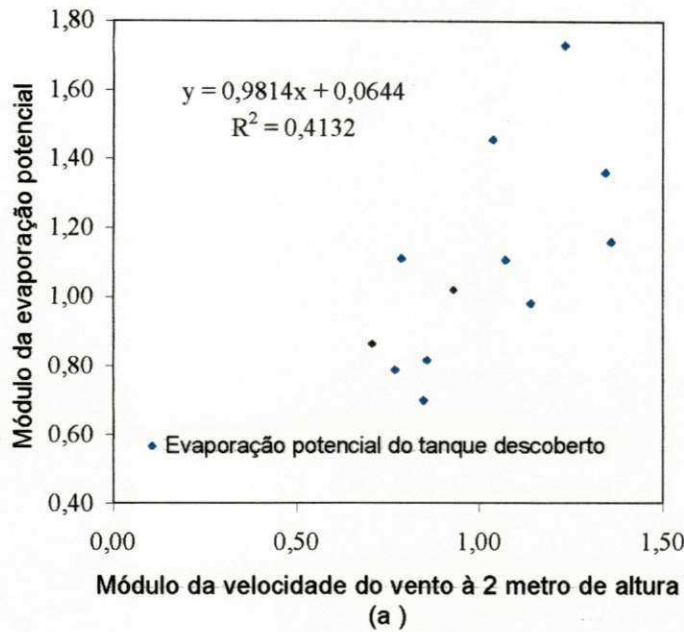


Figura 11- Relação entre os módulos da evaporação e da velocidade do vento à dois metros de altura da superfície da água (a) tanque descoberto e (b) tanque coberto com tela verde, para a segunda fase do experimento entre os dias 01/04 e 13/04/1999

A relação entre a velocidade do vento à meio metro de altura e a EP, em módulo, apresenta-se bastante distinta, Figura 12 a e 12b. Enquanto no primeiro caso (tanque sem a tela) a relação é claramente linear, 73%, no tanque com tela

verde essa relação desaparece completamente, pois não é aceito pelo teste de hipótese a um NS de 5%.

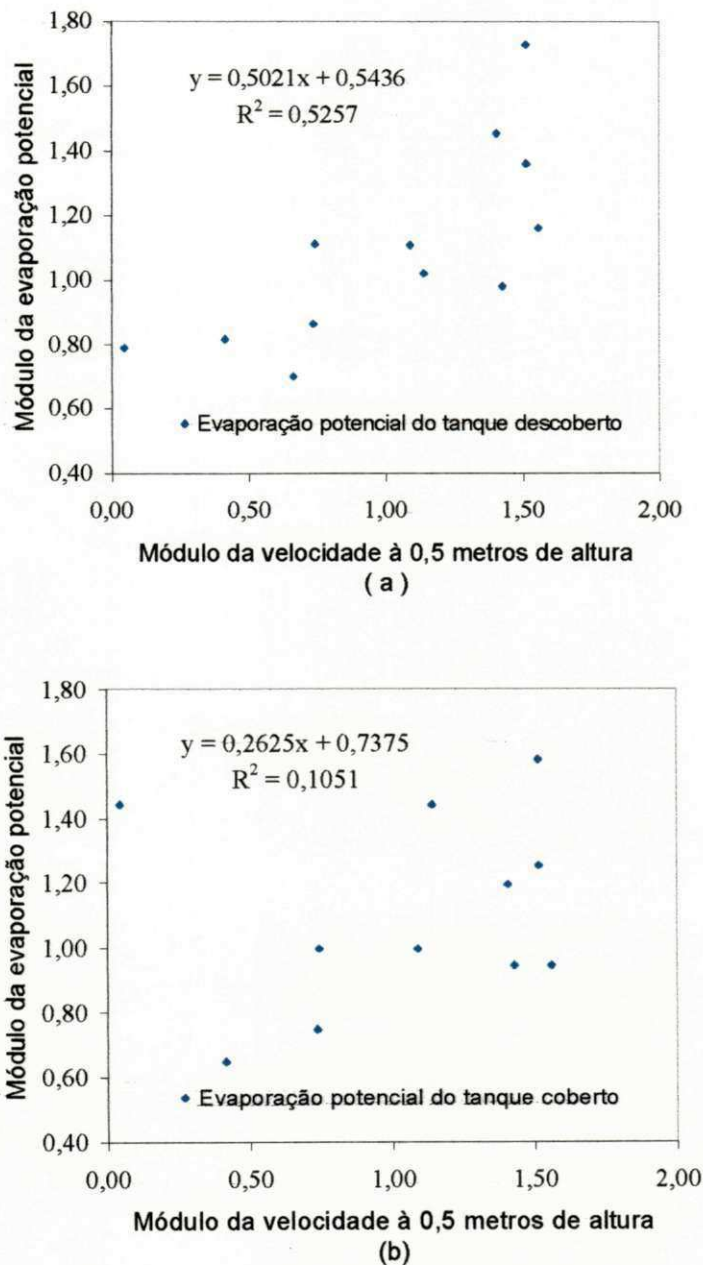


Figura 12 - Relação entre os módulos da evaporação e da velocidade do vento à meio metros de altura da superfície da água (a) tanque descoberto e (b) tanque coberto com tela verde, para a segunda fase do experimento entre os dias 01/04 e 13/04/1999

A velocidade do vento na segunda fase do experimento foi de suma importância, pois obtiveram correlações de 64%, a dois metros de altura, e de 73%, a meio metro de altura, com a evaporação de água no tanque descoberto (Figuras 11a e 12a). Tais correlações são justificáveis, haja visto que para este período foi constatado uma umidade relativa do ar bastante alta, entorno de 89% (Tabela 4), resultando assim numa pressão sobre a superfície da água bem considerável, logo a importância da atuação do vento nessa fase ser bastante importante para a evaporação, pois segundo Pruitt (1961) e Morton (1983b) dentre outros, é a velocidade do vento que modifica a camada limite estabelecendo diminuição da pressão do vapor sobre superfícies evaporante, condicionando-as a uma maior evaporação. Sendo assim para o tanque coberto com tela verde a velocidade do vento a dois metros de altura não influenciara na evaporação no tanque, motivo pelo qual foi explicado anteriormente na primeira fase do experimento, como também a velocidade do vento a meio metro de altura, não tanto como no tanque descoberto, pois esta que tem a função de remover diretamente o vapor de água formado próximo a superfície, encontra dificuldades para tal devido a presença da tela, ao ponto de não apresentar correlação linear com a evaporação a um NS de 5%.

O saldo de radiação para o caso do tanque sem tela (Figura 13a) e com tela verde (Figura 13b), apresentam comportamentos bastantes diferentes. No tanque descoberto observa-se uma correlação linear muito boa, 64%, e no coberto com tela a correlação é rejeitada pelo teste de hipótese para um NS de 5%.

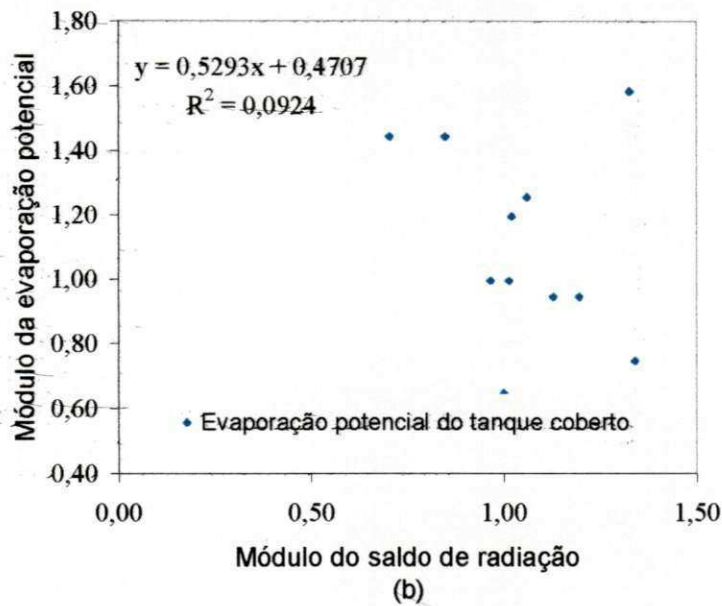
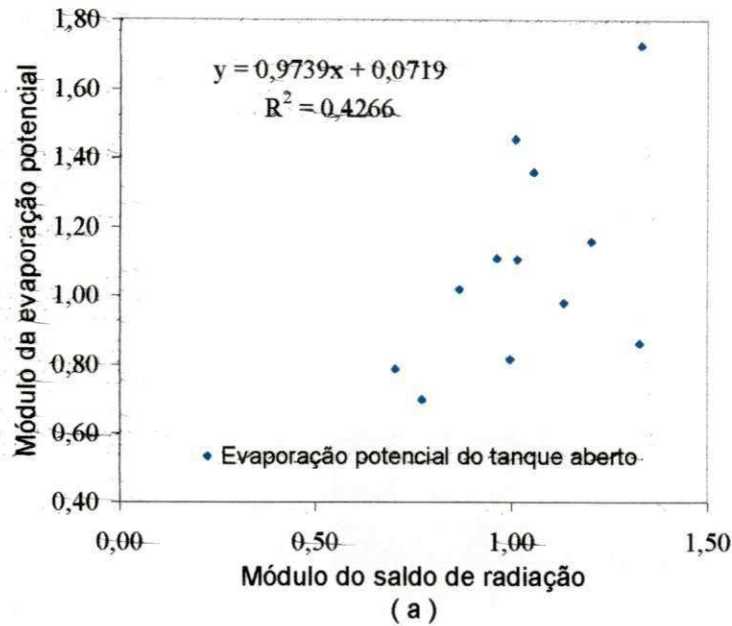


Figura 13 - Relação entre os módulos da evaporação e o saldo de radiação (a) tanque descobertos e (b) tanque coberto com tela verde, para a segunda fase do experimento entre os dias 01/04 e 13/04/1999

As mesmas características podem ser vistos nas Figura 14a e b, para os módulos da irradiação solar global; haja visto que em módulo a irradiação e o saldo apresentam valores iguais, mais que em valores médios (Tabelas e colunas 4 e 5) existe uma pequena diferença, o que é justificável, pois Dantas *et. Al.* (1999)



dentre outros, encontraram uma variação no albedo de 5,1 % a 12 % da irradiação solar incidente na superfícies de água, logo o saldo de radiação se aproxima da irradiação solar global incidente na superfície da água. De forma que a redução da

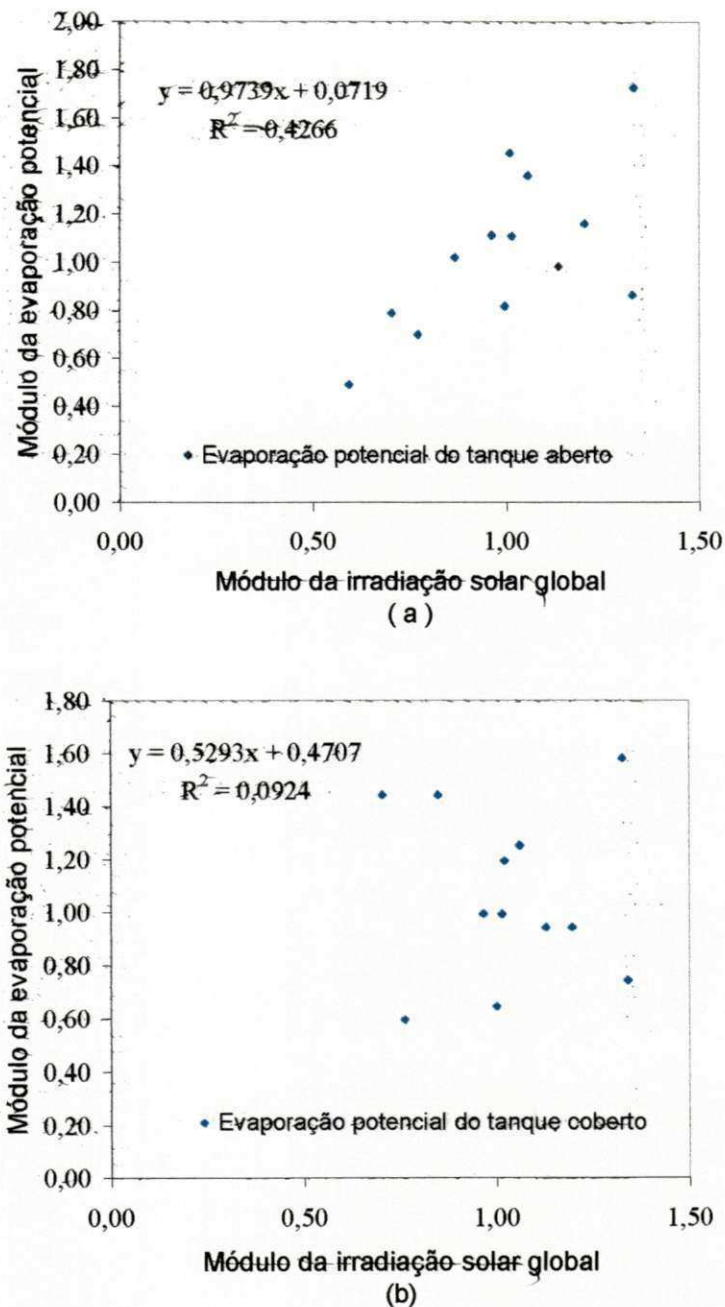


Figura 14 - Relação entre os módulos da evaporação e da irradiação solar global (a) tanque descoberto e (b) tanque coberto com tela verde, para a segunda fase do experimento entre os dias 01/04 e 13/04/1999

irradiação solar e conseqüentemente o saldo de radiação e de suma importância, isto porque diversos autores ( Hollen,1968; Stewart & Rouse, 1976; Omar & El-Bakry, 1981; dentre outros) considera uma das fontes de energia mais importante no processo de evaporação de superfícies líquidas.

#### **4.2 - Efeitos das telas verde e branca sobre a evaporação potencial nos tanques de amianto**

Os valores diários da evaporação potencial (EP) sobre a superfície de água nos tanque de cimento amianto descoberto e coberto com tela branca apresentaram-se com valores máximos de 5,0 mm/dia e 4,0 mm/dia e mínimos de 2,1 mm/dia e 2,0 mm/dia, respectivamente, como mostra a Tabela 7. Em média, verificou-se uma redução de evaporação, no tanque coberto com tela branca, em torno de 25 %.

Pode ser notado na Figura 15 que o comportamento diário da EP entre os tanques foi bastante similar, esse comportamento evidencia a redução da EP para o tanque com tela, exceto para os dia 12 de março de 1999, onde os valores da EP foram iguais. Esse fato verificou-se devido a ocorrência de precipitação nesse dia, contribuindo dessa forma para a redução significativa da evaporação.



Tabela 7 – Valores diários da evaporação potencial entre 06:00 e 18:00 horas local para o primeiro período do experimento

Dias (1)	Horários (2)	EP sem tela (mm) (3)	EP com tela branca (mm) (4)	Redução
28/3	[06 as 18]	3,9	2,9	25,6
29/3	[06 as 18]	4,0	3,0	25,0
30/3	[06 as 18]	4,0	3,0	25,0
31/3	[06 as 18]	5,0	4,0	20,0
01/4	[06 as 18]	4,0	3,0	25,0
02/4	[06 as 18]	4,0	3,0	25,0
03/4	[06 as 18]	4,0	3,0	25,0
04/4	[06 as 18]	4,0	3,0	25,0
05/4	[06 as 18]	3,0	2,0	33,3
06/4	[06 as 18]	5,0	4,0	20,0
07/4	[06 as 18]	5,0	4,0	20,0
08/4	[06 as 18]	5,0	4,0	20,0
09/4	[06 as 18]	4,0	3,0	25,0
10/4	[06 as 18]	5,0	4,0	20,0
11/4	[06 as 18]	4,0	3,0	25,0
12/4	[06 as 18]	2,1	2,1	0,0
13/4	[06 as 18]	2,6	2,6	0,0
14/4	[06 as 18]	4,0	3,0	25,0
15/4	[06 as 18]	4,0	3,0	25,0
16/4	[06 as 18]	4,0	3,0	25,0
17/4	[06 as 18]	4,0	3,0	25,0
18/4	[06 as 18]	4,0	3,0	25,0
19/4	[06 as 18]	3,0	2,0	33,3
20/4	[06 as 18]	4,0	3,0	25,0
21/4	[06 as 18]	4,0	3,0	25,0
22/4	[06 as 18]	4,0	3,0	25,0
23/4	[06 as 18]	3,2	2,2	31,3
24/4	[06 as 18]	4,0	3,0	25,0
25/4	[06 as 18]	3,0	2,0	33,3
26/4	[06 as 18]	4,0	3,0	25,0
27/4	[06 as 18]	3,0	2,0	33,3

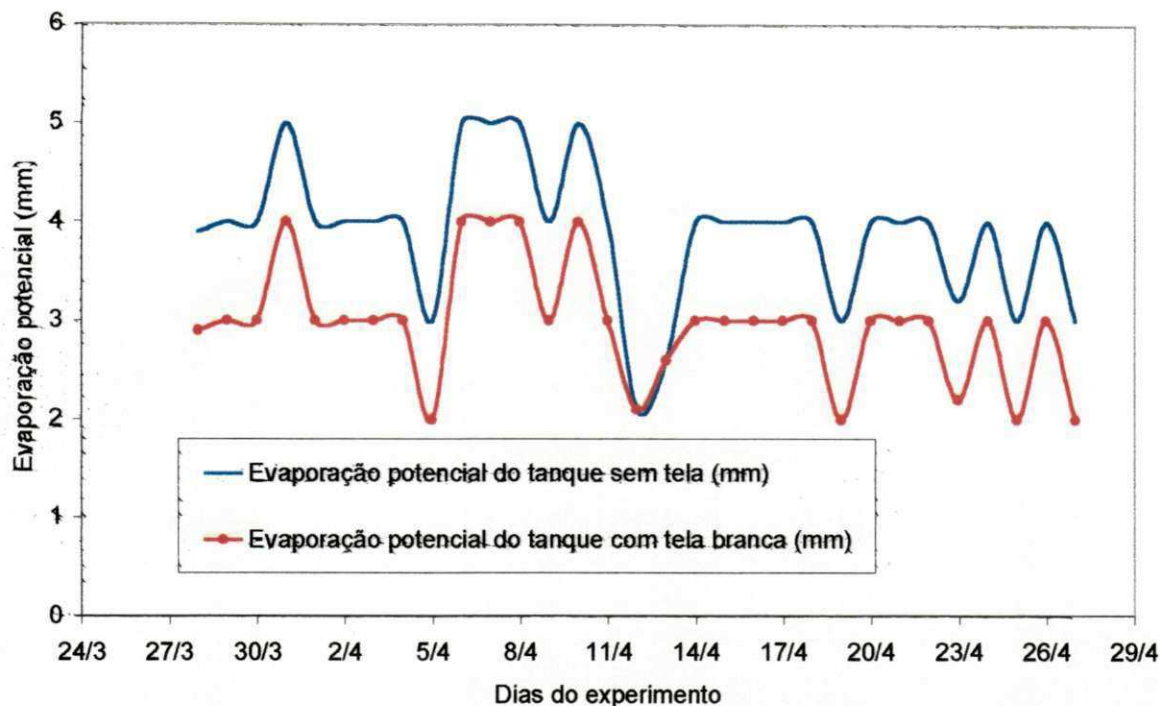


Figura 15 - Evaporação potencial da água do tanque sem tela (linha sem pontos) e com tela branca (linha com pontos).

O experimento para o tanque coberto com tela verde apresentou o menor valor observado de 0,4 mm/dia e maior de 3,18 mm/dia, contra o mínimo de 0,5 mm/dia e máximo de 5,3 mm/dia para o tanque sem tela (Tabela 8). O tanque coberto com tela verde apresentou uma redução média da evaporação, no período estudado, de 37%. Para este caso o comportamento diário da EP observado entre os dois tanques (com tela verde e sem tela) não foram tão similares, como observado no caso da tela branca. Esse fato evidencia que a tela verde proporciona uma maior redução na EP do tanque (Figura 16).

Tabela 8 - Valores diários da evaporação potencial entre 06:00 e 18:00 horas local para o segundo período do experimento.

Dias (1)	Horários (2)	EP sem tela (mm) (3)	EP com tela verde (mm) (4)	Redução
1/5	[06 as 18]	2,1	1,20	42,86
2/5	[06 as 18]	3,6	1,90	47,22
3/5	[06 as 18]	3,4	2,00	41,18
4/5	[06 as 18]	4,2	2,52	40,00
5/5	[06 as 18]	2,2	1,30	40,91
6/5	[06 as 18]	0,5	0,40	20,00
7/5	[06 as 18]	3,4	2,90	14,71
8/5	[06 as 18]	4,1	2,90	29,27
9/5	[06 as 18]	5,3	3,18	40,00
10/5	[06 as 18]	3,1	1,90	38,71
11/5	[06 as 18]	4,5	2,40	46,67
12/5	[06 as 18]	2,6	1,50	42,31
13/5	[06 as 18]	3,4	2,00	41,18

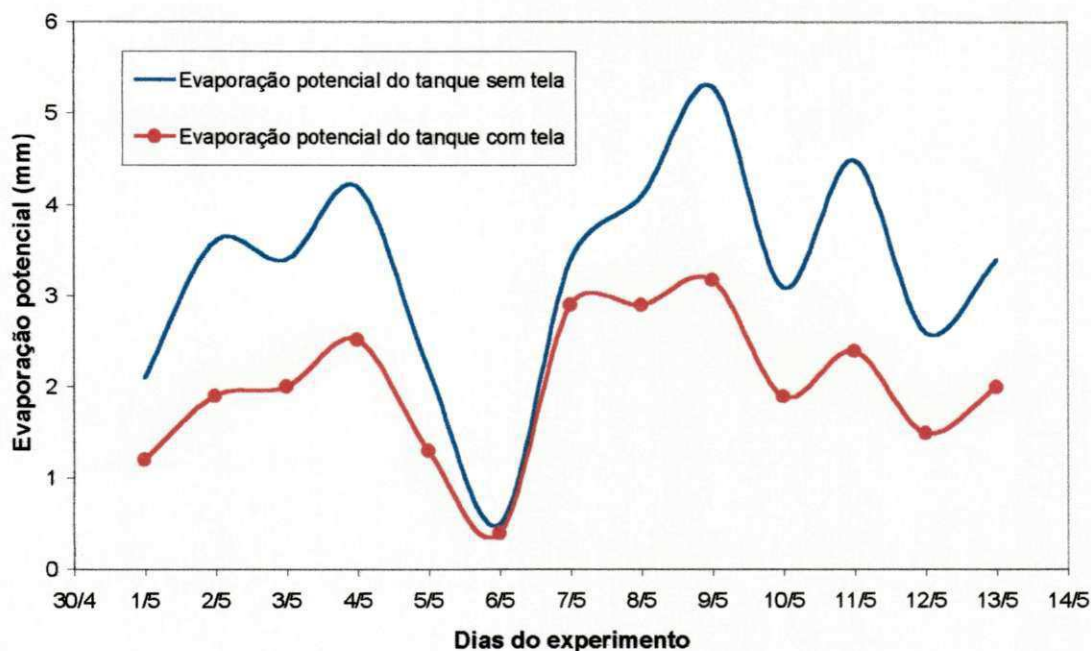


Figura 16 - Evaporação potencial (mm) da água dos tanques sem tela (linha sem pontos) e com tela verde (linha com pontos).

Esses resultados de redução média da evaporação da água do tanque, coberto com tela branca, igual a 25% e coberto com tela verde igual a 37%, de certa

forma, surpreende. Esperava-se, antes do experimento, que a tela branca pudesse refletir mais radiação do que a tela verde devido a sua cor. Em conseqüência haveria menos energia disponível para o processo de evaporação e a água do tanque abaixo dessa tela se conservaria bem mais. Com os resultados experimentais invertidos só há uma explicação física para esse fenômeno: a tela verde absorve mais radiação solar incidente do que a tela branca, tendo esta a tendência de refletir em todas direções a irradiação solar incidente. Sendo assim, a energia disponível para o processo de evaporação é bem menor e a conservação da água do tanque sob a tela verde é quase duas vezes àquela verificada para a água do tanque sob a tela branca.

### **4.3 - Sumário**

Estes dois experimentos foram realizados em local e época de umidade relativa do ar considerada alta, em média entre 77,1 e 89,7%, esses valores contribuíram de forma significativa para a redução da evaporação potencial. É importante ressaltar que esses valores de umidade não são representativos daqueles observados nas sub-regiões estritamente semi-áridas do Nordeste brasileiro. Isto significa que lá os valores da EP deverão ser bem maiores.

O vento contribuiu mais para o aumento da EP na primeira fase (valor médio de 2,06 m/s para o anemômetro à dois metros de altura e 0,92 m/s para o anemômetro colocado à meio metro de altura) do que no experimento da segunda fase (valor médio de 1,71 m/s para o anemômetro a dois metros de altura e 0,78 m/s para o anemômetro colocado à meio metro de altura), visto que sua velocidade foi bem maior do que na segunda fase. Vale salientar que a advecção de umidade e temperatura (ar mais quente) é um dos fatores determinantes no processo da evaporação, tendo importância e peso de acordo com as dimensões do reservatório.

A razão entre os valores médios de irradiação solar global resultante do piranômetro fora da tela e o outro sob tela branca foi de 78,4 % (Tabela 1 e 2, coluna 3), que determina assim uma redução na transmissão de radiação pela tela em torno 21,6 % da  $R_g$ , enquanto que para o experimento com a tela verde (Tabela 4 e 5, coluna 3) teve-se 70,1 %, indicando uma redução na transmissão da  $R_g$ , em torno de 30 %.

## **5 - CONCLUSÕES E SUGESTÃO**

### **5.1 Conclusões**

1. A redução média da evaporação da água do tanque, coberto com tela branca, igual a 25% e coberto com tela verde igual a 37%, de certa forma, surpreende. Esperava-se, antes do experimento, que a tela branca, devido a sua cor, pudesse refletir mais radiação do que a tela verde e conseqüentemente conservar mais a água do tanque;
2. A irradiação solar global teve menor influência sobre a EP na segunda fase do experimento do que na primeira. Na segunda fase, experimento com tela verde, a ação da radiação foi reduzida em 30%; Pois a tela verde além de refletir parte da radiação incidente, esta absorve maior quantidade de energia devido sua cor mais escura que a branca, disponibilizando menos saldo de radiação na superfície da água para ser convertida em evaporação.
3. O fato de as variáveis que se relacionam com a EP, terem sido rejeitadas pelo teste hipóteses, no segundo experimento, corrobora com a maior eficiência da tela verde na redução da EP.
4. Apesar da localização e condições do experimento não terem sido ideais (fator limitante da pesquisa), os resultados deste estudo poderão abrir caminhos para futuras pesquisas que visem a conservação e o gerenciamento de água;

5. A técnica usada neste estudo, cobertura de tanque para reduzir o efeito da EP, atingiu seu objetivo. Mesmo considerando as limitações supracitadas deste estudo.

## 5.2 Sugestão

1. Sugere-se que estudos nesta linha de pesquisa sejam efetuados em melhores condições materiais e técnicas quais sejam: reservatório de água natural, maior disponibilidade de instrumentos para alongar o período da pesquisa, recursos financeiros para testar a adequabilidade da técnica aqui proposta.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Beard, J. Taylor, Gainer, J. L. Influence of radiation reflectance on water evaporation. **Journal of Geophysical Research**. v.75, nº 27, september / 1970.
- Berlato, M. A. & Molion, L. C. B. Evaporação e evapotranspiração. Boletim Técnico 7, IPAGRO, Porto Alegre, p. 96, 1981.
- Brent, Cluff C. Rafts: New way to control evaporation, Crops and Soils Magazine, v.20, n.2, p.7-9, 1967.
- Chooley, K.R. and Cluff, C.B. Reducing pond evaporation with perlite ore, **Journal of the Irrigation and Drainage Division-ASCE**, v.98, n.1R2, p.255-266, 1972.
- Chang, Jen-Hu. Climate and agriculture: an ecological survey. **Aldine Publishing Company**. Chicago, USA, 1968.
- Crow, E.R. . Increasing water supplies by suppression of reservoir evaporation, **Oklahoma Water Research Institute**, p. 37, 1973.
- Dantas, A. A. A., Escobedo, J. F., Oliveira, de A. P. Balanço de radiação solar em meio aquoso. **XI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**, CD. Florianópolis-SC, 1999.



- Dantas, A. A. A., Larges, G. , Escobedo, J. F., Oliveira, de A. P. Determinação do albedo da água de uma represa. **VIII Congresso Brasileiro de Meteorologia e II congresso Latino – Americano e Ibérico de Meteorologia**, v.1, p. 452-455. Belo Horizonte, outubro de 1994.
- De Bruin, H. A. R. , e Keijman, J. Q. . The Priestley – Taylor evaporation model applied to a large shallow lake in the Netherlands. **Journal of Applied Meteorology**, vol. 18, p. 898-903, 1979.
- De Bruin, H. A. R. . A simple model for shallow lake evaporation. **Journal of Applied Meteorology** , vol. 17, p. 1132 – 1134, 1978.
- Desai, A. L., Tople, V. M. Use of water evaporation retardants for water conservation. **Journal of Indian Water Works Association**, Abril-June, p. 193-194, 1990.
- Dias, N. L. da C. Estimativas climatológica de evaporação em lagos. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Universidade Federal , Rio de Janeiro-RJ, p.175, 1986.
- Doorenbos, J. & Pruitt, W. O. Guidelines for predicting corp water requirements. **FAO Irrigation and drainage paper 24**, 2<sup>nd</sup> ed., Rome, p. 179, 1977.
- Dyer, A. J. The turbulent transport of heat and water vapour in an unstable atmosphere. *Ibid*, v. 93, p.501-508, 1967.
- Dylla, A. S. , Tommons, D.R. & Saull, H. Estimating water used by irrigation corn in west central. **Soil Sci. Soc. Am. Journal Minesota**, 44:823-827, 1980.
- Gangopadhyana, M; Harbeck, G.E. Jr; Nordenson, T. J. ; Omar, M. H. & Uryvaev, V. A. . Measurement and estimation of evaporation and evapotranspiration. **World Meteorological Organization**, Geneva, p.121, 1966.

Garrett, William D. A novel approach to evaporation control with monomolecular films. **Journal of Geophysical Research**, v. 76, n. 21, p. 5122-5123, 1971.

Hanson, C. L., Rauzi, F. Class A pan evaporation as affected by shelter, and a daily prediction equatio. **Agricultural Meteorology**, v. 18, p.27-35, 1977.

Heikinheimo, M., Kanga, M., Tourula, T., Vennalainen, <sup>a</sup>, and Tattari, S. Momentum and Heat Fluxes over Lakes Tamnaren and Raksjon Based on Measurements by the Bulk Aerodynamic and Eddy-correlation Methods. **Agricultural Meteorology**, 1997.

Hollen, D. K. Influence of solar radiation reflectance on water evaporation, Master's thesis, University of Viginia, Charlottesville, 1968.

Huntingford, C., Blyth, M., Wood, N., Hewer, F. E., Grant, A. The effect of orography on evaporation. **Boundary-Layer Meteorology** 86: 487-504, 1998.

Keijaman, J. Q. The estimation of the energy balance of a lake from simple weather data. **Bound – Layer Meteorology**, v.7, p. 399 – 407, AUG 1974.

Kohler, M. A. , Parmele, L. H. Generalized estimates of free-water evaporation. **Water Resources Research**. Pennsylvania, University Park, v.3, p. 997-1005, 1967.

Lapp, H.M. An evaluation of five application methods for applying suppressants to the surface of small water storages. **Can. Agricultural Eng.**, v.10, n.1, p. 17-22, 1968.

- Linacre, E. T., A simply formula for estimating evaporation rates in various climates using temperature data alone. **Agricultural Meteorology**, vol. 18, p. 409 – 424, 1977.
- Miers, Lloyd.e. and Frasier, Gary W. Evaporation reduction with granular materials. **Journal of the Irrigation and Drainage Division-ASCE**, v.96, n.1R4, p.425-436, 1970.
- Molle, F. . Perdas por evaporação e infiltração em pequenos açudes. **Série Brasil. SUDENE. Hidrologia**. Recife, série.25, 1989.
- Morton, F. I. Climatological estimates of lake evaporation. **Water Resources Research**. Hydrology Research Division. Canada,. v.15, n.1, p.64-76, 1979.
- Morton, F. I. Operational estimates of areal evapotranspiration and their significance to the science and practice of hydrology. **Journal of Hydrology**. National Hydrology Research Institute, Environment Canada,. v.66, p.1-76,1983a.
- Morton, F. I. Operational estimates of lake evaporation. **Journal of Hydrology**. National Hydrology Research Institute, Environment Canada, v.66, p.77-100,1983b.
- Mattos, A. e Villela, S. M. Evapotranspiração real média espacial em uma bacia hidrográfica. In: **Simpósio Brasileiro De Hidrologia e Recursos Hídricos**, 7, Salvador- BA. Anais 02: 504-221, 1987.
- Medeiros, J.F. , Pereira, F. A. C., Folegatti, M. V., Pereira, A.R., Villa nova, N. A. Comparação entre a evaporação em tanque classe A e em minitanque em estufa e estação meteorológica. In: **Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**, 10, Piracicaba-SP. Anais 01: 228-230, 1997.

- Moura, G. A., Silans, A. M. B. P. Contribuição do modelo numérico de evaporação de açude baseado no conceito de advecção localizada. In: Simpósio. **Brasileiro de Recursos Hídricos**, 10, Gramado-RS. Anais 02: 405-414, 1993.
- Omar, M. H. & El-Bakry, M. M. Estimation of evaporation from the lake of the Aswan High Dam (lake Nasser) based on measurements over the lake. **Agricultura Meteorology**, v. 23 p. 293 – 308, 1981.
- Ometto, J. C. Bioclimatologia vegetal. São Paulo – SP: Ed. Agronômica Ceres, 1981, 129-179.
- Oliveira, A. S. Estudos comparativos da evaporação potencial estimada por tanques e pelo método de Penman. Piracicaba, 1971. Tese (tese de livre-Docência) - ESALQ/USP, 113p.
- Penman, H. L. Natural evaporation from open water, bare soil, and grass. **Proceedings of the Royal Society**, London, p. 120-146, 1948.
- Pereira, A. R. , Vila Nova, N. A. e Sedyama, G. C. . Evapo(transpi)ração. Piracicaba FEALQ, p.183, 1997.
- Priestley, C. H. B. e Taylor, R. J. . On assessment of surface heat flux and evaporation using large – scale parameters. **Monthly Weather Review** , vol. 100, p. 81-92, 1972.
- Pruitt, W. P. Investigations of energy and mass transfer near the ground including influences of the soil-plant-atmosphere system. **Journal of Agricultura Resources**. v.11, p.209 -240, 1961
- Rosenberg, N.J. , Blad, B. L. & Verma, S. B. Microclimate: The biological environment. 2<sup>a</sup>. ed **John Wiley & Sons**, cap. 7. p. 209-287, 1983.

Shanmugam, S. . Retardation of evaporation from open water storages, **Irrigation and Power**, v.25, n.1, p.61-67, 1968.

Shaw, E.W. Hidrology in practice. Van Nostrand Reinhold (UK). Co. Ltda. 569p, 1983.

Slayter, R. O. & Mcilroy. Practical microclimatology Canberra, CSIRO, 328p. 1961.

Silveston, P. L. "Economic of water conservation with monomolecular films: part I" **Amer. Soc. of Agr. Eng. Trans.**, v.8, n.1, p.127-134, 1965.

Slayer, R. O. e Mcilroy, I. C. . Pratical microclimatology. Canberra, CSIRO, P. 328, 1961.

Sleight, R. B. . Evaporation from the surfaces of water and river-bed materials. **Jounal of Agricultura Resources**. v.10, p.209 -262,1917.

Spiegel, Murray R. Estatística. Brasília : Mcgraw –Hill do Brasil, 1974, 401-445p

Stewart, R. B., & Rouse, W. R. A simple method for determining the evaporation from shallow lakes and ponds. **Water Resources**. , v.12, p. 623-628, 1976.

Stewart, R. B. & Rouse, W. R. A simples method for determining the evaporation from shallow lake and ponds. **Water Resources Resourch**, v. 12 , p. 623-628, 1976

Thornthwaite, C.W., An approach toward a rational classification of climate. **Geography Review**,. n. 38, 55-94p., 1948.

Venalainen, A. , Frecht, M., Heikinheimo, M., and Grelle, A. Latent and Sensible Heat Fluxes from Boreal Zone Lakes; Comparison with fluxes from Forest and Influence on Regionally Averaged Values. **Agricultural Meteorology**, 1997.

Venälainen, A. , Heikinheimo, M. , Tourula, T. Latent heat flux from small sheltered lakes. **Boundary-Layer Meteorology.**, v.86, p. 355-377, 1998.

Villa Nova, N. A. Estudo sobre o balanço de energia em cultura de arroz Piracicaba, ESALQ/USP 78p (tese de doutorado) 1967.

Wixson, B.G. ; Davis, W. B. . Some effects of continuous anti-evaporation films. Proc. of 3rd Annual American **Water Resources Conference**, p.170-174, 1967.