

# EVAPOTRANSPIRAÇÃO E SUA INFLUÊNCIA NA ENGENHARIA CIVIL

Antônio Vitor Barbosa Fernandes<sup>1</sup>



ISSN IMPRESSO 1980-1777

ISSN ELETRÔNICO 2316-3135

## RESUMO

Nos últimos anos a preocupação com a água vem crescendo, devido ao aquecimento global e a sua escassez. Por ser uma fonte indispensável ao desenvolvimento de qualquer sociedade, a água vem sendo cada vez mais estudada e seu uso otimizado, para um menor desperdício. Para entender um pouco mais sobre a água se faz necessário o conhecimento do seu ciclo hidrológico, à qual a evapotranspiração é uma das variáveis hidrológicas mais importantes e influencia diretamente no dimensionamento de obras de engenharia, minimizando os impactos de manifestações extremas, como enchentes, longas estiagens, atividades associadas às questões ambientais e estudos de erosão, fornecendo subsídios para estimativa de perdas de solo como, intensidade de precipitação, escoamento em bacias hidrográficas e proteção por meio da implantação de vegetação e dimensionamento de canais divergentes, bacias de contenção em estradas e terraços de infiltração e escoamento. Assim sendo, o principal fim deste trabalho é fazer um apanhado sobre a evapotranspiração e suas influências ao dimensionamento de obras civis. Logo saber dimensionar essas obras é responsabilidade do engenheiro, que muitas vezes não tem uma fundamentação de hidrologia necessária para aplicá-las, desprezando a variável evapotranspiração.

## PALAVRAS-CHAVE

Evapotranspiração. Engenharia Civil. Água. Importância.

## ABSTRACT

In recent years the concern for water is increasing due to global warming and its scarcity. Because it is an indispensable source for the development of any society, the water has been increasingly studied and their optimal use for less waste. To understand a little more about the water if the knowledge of the hydrological cycle is necessary, which evapotranspiration is one of the most important hydrological variables and directly influences the design of engineering works, minimizing the impacts of extreme events such as floods, long droughts, activities related to environmental issues and erosion studies, providing subsidies to estimate soil loss as intensity of precipitation, runoff in watersheds and protection through the implementation of vegetation and design of different channels, containment basins on roads and terraces of infiltration and runoff. Therefore, the main purpose of this paper is to summarize on evapotranspiration and its influences to the design of civil works. Soon know size these works is an engineer's responsibility, which often does not have a foundation of hydrology necessary to apply them, despising the variable evapotranspiration.

## KEYWORDS

Evapotranspiration. Civil Engineer. Water. Importance.

## 1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural reciclável que supostamente encontra-se em grande disponibilidade, tanto na qualidade como na quantidade, por ocupar cerca de 70% da superfície do planeta. Sempre foi e continuará sendo, com maior intensidade com o passar do tempo, um fator determinante e cada vez mais limitante para o desenvolvimento da sociedade humana (SILVA e MELLO, 2003).

Indispensável à vida, a água é um recurso necessário a diversas atividades humanas, além de ser um componente fundamental à paisagem e ao meio ambiente. Recurso de valor inestimável apresenta múltiplas utilidades, como geração de energia elétrica, abastecimento doméstico e industrial, irrigação, navegação, recreação, turismo, aquicultura, piscicultura, pesca e ainda assimilação de esgoto (SILVA e MELLO, 2003).

Segundo Tundisi e Tundisi (2005), em termos quantitativos, tem-se que 97,5% da água do planeta encontram-se nos oceanos, portanto água salgada. Dos 2,5% de água doce: 68,9% estão congeladas nas calotas polares e geleiras; 29,9% são águas subterrâneas; 0,3% estão nos rios e lagos; e 0,9% em outros reservatórios. Assim, as águas doces, que constituem os rios e lagos nos continentes, e as águas subterrâneas são relativamente

escassas, sendo uma pequena fração dos recursos hídricos disponíveis do planeta. Além disso, a distribuição das águas doces no planeta é desigual.

Para entender um pouco mais sobre a água se faz necessário o conhecimento do seu ciclo hidrológico, que nada mais é o fenômeno global de circulação fechada da água entre a superfície terrestre (continente e oceano) e a atmosfera, impulsionado, fundamentalmente, pela energia solar associada à gravidade e à rotação terrestre. É extremamente dinâmico, dependente da quantidade de energia emitida sobre a Terra, do comportamento térmico dos continentes em relação aos oceanos, do dióxido de carbono e ozônio presentes na atmosfera, das características dos solos e suas ocupações, e da circulação atmosférica devido à influência da rotação e inclinação do eixo terrestre (MEDEIROS, 2008; TUCCI, 2001).

Segundo Tucci (2001), a transferência de água entre a superfície terrestre e a atmosfera ocorre em dois sentidos: a atmosfera-superfície, em que a água pode estar em qualquer estado físico, na forma de precipitação de chuva, granizo e neve, e no sentido superfície-atmosfera em que transferência de água ocorre na forma de vapor, devido à evaporação e transpiração, sendo a última de origem biológica.

No decorrer da história vários pesquisadores, cientistas e até filósofos despertaram interesse pelo estudo da evaporação e da evapotranspiração. As teorias evoluíram gradativamente e dois marcos merecem destaque: o primeiro se deu por meio de Dalton, em 1802, que concluiu que a evaporação, a partir de qualquer superfície úmida, deveria ser consequência dos efeitos combinados do vento, conteúdo de umidade da atmosfera e das características da superfície; o segundo se deu por meio dos trabalhos realizados por Warrem Thornthwaite e Howard Penman, em 1948. Foi neste momento que surgiu pela primeira vez a utilização do termo evapotranspiração, anteriormente chamado de uso consuntivo (SEDIYAMA, 1996).

A partir da década de 50 iniciaram-se os estudos da necessidade hídrica em projetos de irrigação, com desenvolvimento de metodologias simples e utilização de métodos diretos para estimativa da evapotranspiração (MOURA, 2009).

A obtenção de uma estimativa adequada de evapotranspiração tem fundamental importância para a engenharia, pois consiste em parâmetro indispensável ao dimensionamento e manejo de sistemas de irrigação, obras de drenagem, pontes, barragens e rede de esgotos, já que contabiliza a quantidade de água utilizada pelas plantas que retorna à atmosfera por meio da transpiração. Sendo o fenômeno de evapotranspiração parte do ciclo hidrológico, sua estimativa, também, é de fundamental importância para o cálculo do balanço hídrico e, assim, na estimativa da recarga hídrica de aquíferos. As estimativas de evaporação são críticas em projetos hidráulicos na área de engenharia civil (MEDEIROS, 2008).

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

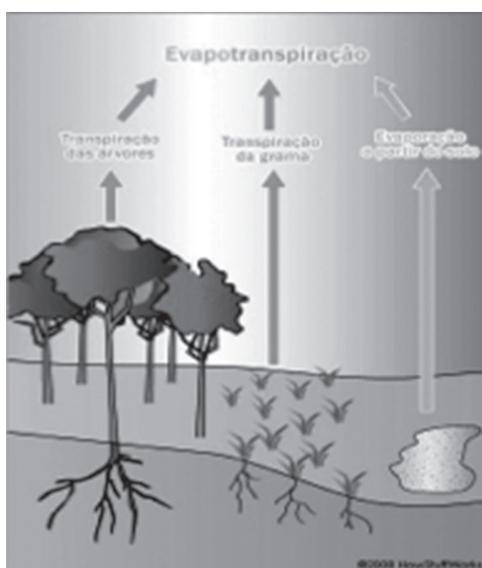
### 2.1 CONCEITOS E DEFINIÇÕES

Dá-se o nome de evaporação ao conjunto dos fenômenos físicos que transformam em vapor a água precipitada sobre a superfície do solo e a água dos mares, dos lagos, dos rios e dos reservatórios de acumulação (GARCEZ e ALVAREZ, 2012).

Chama-se transpiração o processo de evaporação decorrente de ações fisiológicas dos vegetais. Por meio de suas raízes, os vegetais retiram do solo a água necessária às suas atividades vitais, restituindo parte dela à atmosfera em forma de vapor, que se forma na superfície das folhas (GARCEZ e ALVAREZ, 2012).

Segundo Porto e outros autores (2000), evapotranspiração é o conjunto de evaporação da água de superfícies livres e do solo mais a perda de água das plantas por transpiração (Figura 1).

Figura 1 – Esquema da evapotranspiração



Fonte: <[www.hsw.uol.com.br](http://www.hsw.uol.com.br)>

De acordo com Pita (2011) existem conceitos distintos de evapotranspiração que devem ser observados:

a) Evapotranspiração Potencial (ETp): perda de água por evaporação e transpiração de uma superfície natural tal que esta esteja totalmente coberta e o conteúdo de água no solo esteja próximo à capacidade de campo;

b) Evapotranspiração de Referência (ET<sub>o</sub>): perda de água de uma extensa superfície cultivada com grama, com altura de 0,08 a 0,15 m, em crescimento ativo, cobrindo totalmente o solo e sem deficiência de água.

c) Evapotranspiração Real (ET<sub>r</sub>): perda de água por evaporação e transpiração nas condições reinantes (atmosféricas e de umidade do solo).

## 2.2 GRANDEZAS CARACTERÍSTICAS

De acordo com Garcez e Alvarez (2012), a evapotranspiração constitui grandezas características como:

a) Perdas por evaporação ou por transpiração: quantidade de água evaporada (ou transpirada) por unidade de área horizontal durante em certo tempo. Essa grandeza costuma ser medida em *mm*.

b) Intensidade de evaporação ou de transpiração: rapidez com que se processa o fenômeno de evaporação ou de transpiração. Essa grandeza é expressa comumente em mm/hora ou mm/dia.

## 2.3 FATORES INTERVENIENTES NA EVAPOTRANSPIRAÇÃO

Segundo Garcez e Alvarez (2012), os fatores que afetam o fenômeno podem ser agrupados em duas categorias distintas: os relativos à atmosfera ambiente, e os referentes à própria superfície evaporante.

Os primeiros caracterizam o estado da atmosfera na vizinhança da superfície evaporante e estão assim relacionados ao que se denomina o poder evaporante da atmosfera. Os segundos caracterizam o estado da própria superfície evaporante (superfície de água livre, solo nu, vegetação etc.) e sua aptidão para alimentar a evaporação.

Diversas tentativas têm sido feitas para relacionar o poder evaporante da atmosfera a vários fatores meteorológicos, tais como: temperatura, insolação, grau de umidade relativa do ar, velocidade e turbulência do vento, pressão barométrica etc. Na realidade, a maior parte desses parâmetros está em estreita interdependência, de forma que os mais importantes dentre eles podem aparecer isolados nas formulas simplificadas (GARCEZ e ALVAREZ, 2012). Abaixo alguns dos fatores que intervêm na evapotranspiração:

- Umidade do ar - o conteúdo de água presente no ar atmosférico, ela está misturada com o mesmo de forma homogênea no estado gasoso. Como qualquer outra substância o ar tem um limite de absorção, este limite se denomina saturação. Assim, ar com umidade relativa de 100% está saturado de vapor, e ar com umidade relativa de 0% está completamente isento de vapor (COLLISCHONN, 1998).

- Vento - renova o ar em contato com a superfície que está evaporando (superfície da água, superfície do solo, superfície da folha da planta). Se os ventos estiverem fortes, a turbulência é maior e a transferência para regiões mais altas da atmosfera é mais rápida, e a umidade próxima à superfície é menor, aumentando a taxa de evaporação (COLLISCHONN, 1998).

- Radiação Solar - a quantidade de energia solar que atinge a Terra no topo da atmosfera está na faixa das ondas curtas. Na atmosfera e na superfície terrestre a radiação solar é refletida e sofre transformações. Da energia recebida na superfície da Terra, aproximadamente 20% é refletida pelas nuvens e partículas atmosféricas, enquanto outra parte é absorvida pela superfície terrestre – solo, vegetação etc. (PITA, 2011).

- Solo - os solos arenosos úmidos têm evaporação maior do que solos argilosos úmidos. Parte da água retida no solo é perdida por evaporação e/ou evapotranspiração e, em função da capacidade de infiltração e retenção de água do solo e da intensidade das chuvas, parte pode exceder e ser perdida por escoamento superficial. Dependendo do volume e da velocidade deste escoamento, pode ocorrer o arraste de partículas de solo e dos insumos nele aplicados, sedimentando-se em baixadas, lagos e rios, o que afeta gradativamente a capacidade produtiva do solo, reduzindo entre outros fatores, a sua fertilidade, a capacidade de infiltração e a retenção de água (PITA, 2011).

Ainda segundo Pita (2011), a vegetação controla a transpiração, podendo agir no fechamento dos estômatos e na busca de umidade de camadas profundas do solo, o que altera o evapotranspiração.

- Temperatura - ao aumento da temperatura da água está associado o aumento da energia vibracional das suas moléculas e, conseqüentemente, o aumento da taxa de escape das moléculas da fase líquida para a fase vapor. Por isso, o aumento da temperatura da água correlaciona-se diretamente com o aumento da taxa de evaporação (PORTO, 2000).

- Pressão barométrica – a intensidade da evaporação é maior em altitudes elevadas; a influência da pressão é, entretanto discreta (GARCEZ e ALVAREZ, 2012).

- Salinidade da água - de acordo com Garcez e Alvarez (2012), a intensidade da evaporação reduz-se com o aumento do teor de sal na água. Em igualdade de condições há uma diminuição de 2% a 3% ao se passar da água doce para a do mar.

### **3 INSTRUMENTO DE MEDIDA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO**

A evapotranspiração pode ser estimada partindo-se do princípio da perda de água de uma determinada superfície ou também por meio do ganho de vapor d'água

pela atmosfera. Para estimar a perda de água de uma superfície considera-se esta como um sistema fechado em um determinado período de tempo deduzindo-se a evapotranspiração em função da perda de água desse sistema, enquanto que, nas estimativas da fase de vapor d'água na atmosfera assume-se que este seja um sistema aberto deduzindo-se a evapotranspiração a partir da integração da taxa de fluxo de vapor d'água por meio da camada limite turbulenta próxima a superfície (SHUTTLEWORTH, 1993)

Segundo Coelho e outros autores (2011), um dos instrumentos usados para a obtenção da evapotranspiração é o lisímetro, que tem sido utilizado por décadas para estudos das relações entre água, solo e plantas, sendo a forma mais empregada para a obtenção direta da evapotranspiração e muitas vezes adotada como referência.

O lisímetro é constituído de um tanque de chapa de ferro, alvenaria, concreto, cimento-amianto, aço ou ferro, fibra de vidro e plástico reforçado, de dimensões variáveis de acordo com a cobertura vegetal usada, cujo objetivo é isolar certo volume de solo de modo a se controlarem todas as entradas e saídas de água desse sistema (Figura 2). Para medidas acuradas da evapotranspiração, a vegetação no interior do lisímetro deve apresentar as mesmas condições (altura e área foliar) da área tampão, cujo tamanho deve ser suficientemente grande para anular os efeitos da advecção.

Figura 2 – Ilustração do lisímetro instalado



Fonte: [www.jararaca.ufsm.br](http://www.jararaca.ufsm.br)

Ainda de acordo Coelho e outros autores (2011), como para fins de aplicações em irrigação e climatologia, a evapotranspiração é quantificada como a perda de determinado volume de água em área unitária, ou seja, representando uma altura ou lâmina de água expressa em milímetros por unidade de tempo. Considerando-se perda de 1 litro de água de uma superfície com área igual a 1 m<sup>2</sup>, tem-se que:

$$ET = 1 \text{ L} \times 1 \text{ m}^{-2} = 1.000 \text{ cm}^3 \times 10.000 \text{ cm}^{-2} = 0,1 \text{ cm} = 1 \text{ mm}$$

Onde  $ET$ : Evapotranspiração.

Para uma superfície de 1 ha (10.000 m<sup>2</sup>), uma  $ET = 1 \text{ mm}$  (0,001 m) irá corresponder a um volume de água de:

$$0,001 \text{ m} = V/10.000 \text{ m}^2 \quad \Rightarrow \quad V = 10 \text{ m}^3$$

ou seja, 1 mm dia<sup>-1</sup> corresponde a 10 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>.

## 4 A HIDROLOGIA NA ENGENHARIA

A humanidade tem se ocupado com a água como uma necessidade vital e como uma ameaça potencial, pelo menos desde o tempo em que as primeiras civilizações se desenvolveram às margens dos rios. Primitivos engenheiros construíram canais, diques, barragens, condutos subterrâneos e poços ao longo do rio Indus, no Paquistão, dos rios Tigre e Eufrates, na Mesopotâmia, do Hwang Ho na China e do Nilo no Egito, há pelo menos 5000 anos, como pode ser visto na Figura 3 (COLLISCHONN e TASSI, 2009).

Figura 3 – Sistema de canais aberto no rio Nilo (antigo Egito).



Fonte: [www.teiadosfatos.blogspot.com.br](http://www.teiadosfatos.blogspot.com.br)

Ainda de acordo com Collischonn e Tassi (2009), grande parte do estudo da hidrologia foi desenvolvida para avaliar a variabilidade temporal de variáveis importantes do ciclo hidrológico e para projetar obras de engenharia adequadas para minimizar os impactos de manifestações extremas desta variabilidade, como enchentes e longas estiagens. Para a limnologia, por outro lado, a variabilidade temporal das variáveis hidrológicas constitui o pano de fundo em frente ao qual se desenvolvem os ecossistemas, e por isso deve ser mais bem compreendida. Portanto, também para a limnologia esta variabilidade temporal, caracterizada pelo regime hidrológico, é fundamental.

### 4.1 APLICAÇÕES DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO NA ENGENHARIA

Segundo Silva e Mello (2003) as várias aplicações da hidrologia, à qual a evapo-

Ciências exatas e tecnológicas | Aracaju | v. 2 | n. 3 | p. 21-36 | Março 2015 | [periodicos.set.edu.br](http://periodicos.set.edu.br)

transpiração é uma variável hidrológica muito importante, envolvem desde projetos de obras hidráulicas, até atividades associadas às questões ambientais, destacando-se:

a) Fornecimento de subsídios técnicos para escolha adequada de fontes de abastecimento de água para uso doméstico e industrial, por meio de parâmetros associados à qualidade e quantidade de água disponível;

b) Projeto e construção de obras hidráulicas (projetos de drenagem e barragens) e fixação de dimensões de obras de arte como pontes, bueiros e galerias pluviais, por meio da geração de informações com base na aplicação de modelos chuva-vazão às bacias de contribuição;

c) Estudo das características químicas, biológicas e comportamentais, como condições de alimentação, escoamento natural e oscilação temporal da profundidade de lençol freático;

d) Auxiliar nos projetos de irrigação na escolha do manancial e estudos de evaporação e infiltração de água no solo;

e) Regularização de cursos d'água e controle de inundações por meio de estudos de variação de vazão, previsão de vazões máximas e áreas de inundação;

f) Controle de poluição, por meio da análise da capacidade de recebimento de corpos receptores dos efluentes de sistemas de esgotos, gerando informações sobre vazões mínimas de cursos d'água, capacidade de reaeração e velocidade do escoamento;

g) Estudos de erosão, fornecendo subsídios para estimativa de perdas de solo como, intensidade de precipitação, escoamento em bacias hidrográficas e proteção por meio da implantação de vegetação e dimensionamento de canais divergentes, bacias de contenção em estradas e terraços de infiltração e escoamento;

h) obtenção de dados e estudos sobre construção e manutenção de canais para navegação;

i) Aproveitamento hidrelétrico por meio da geração de informações sobre vazões máximas, médias e mínimas de cursos d'água, visando às avaliações técnico-financeiras do projeto;

j) Verificação da necessidade de reservatórios de acumulação e determinação dos elementos necessários à execução do projeto, como informações sobre bacias de contribuição, volumes armazenáveis e perdas por evaporação e infiltração;

k) Recuperação e preservação do meio ambiente bem como preservação e desenvolvimento da vida aquática;

l) Planejamento e gerenciamento de bacias hidrográficas, fornecendo informações sobre os principais parâmetros hidrológicos.

## 4.2 BALANÇO HÍDRICO

Para dimensionar uma obra hidráulica com uma margem de erro bem reduzida, antes se deve saber o balanço hídrico da bacia entre entradas e saídas de água. O balanço hídrico de uma bacia hidrográfica envolve a quantificação dos componentes deste sistema (precipitação, umidade do solo, evaporação, evapotranspiração, vazão, escoamento superficial e escoamento subterrâneo) (TUCCI, 1993).

Assim, o regime hidrológico de uma bacia hidrográfica, ou seja, as respostas emitidas na saída do canal principal, diante da entrada de energia pelos eventos de precipitação, são resultantes da interação de todos os elementos e fatores que compõem o interior desse sistema. Segundo Freitas (1998), os processos que regulam a vazão durante os eventos de precipitação, seu volume e regime variam de acordo com o clima, a vegetação, o uso do solo, a topografia e as características da chuva.

A principal entrada de água de uma bacia é a precipitação, onde a saída de água da bacia pode ocorrer por evapotranspiração e por escoamento (COLLISCHONN e TASSI, 2009).

## 4.3 VAZÕES MÁXIMAS

Conforme o mesmo autor, projetos de estruturas hidráulicas sempre são elaborados, admitindo probabilidades de falha. Por exemplo, as pontes de uma estrada são projetadas com uma altura tal que a probabilidade de ocorrência de uma cheia que atinja a ponte seja de apenas 1% em um ano qualquer. Isto ocorre porque é muito caro dimensionar as pontes para a maior vazão possível, por isso admite-se uma probabilidade, ou risco, de que a estrutura falhe. Isto significa que podem ocorrer vazões maiores do que a vazão adotada no dimensionamento.

Para que isso não ocorra é de fundamental importância a obtenção da vazão máxima, selecionando apenas as vazões máximas de cada ano em um determinado local, é obtida a série de vazões máximas deste local e é possível realizar análises estatísticas relacionando vazão com probabilidade. As séries de vazões disponíveis na maior parte dos locais (postos fluviométricos) são relativamente curtas, não superando algumas dezenas de anos.

## 4.4 EVAPOTRANSPIRAÇÃO NA AGRICULTURA

Na agricultura a evapotranspiração é fundamental para o adequado dimensionamento de projetos e no manejo de irrigação, pois representa a quantidade de água a ser

reposta ao solo para manter o crescimento e a produção em condições ideais – Figura 4 (PEREIRA ET AL., 1997). E cada cultura contém sua evapotranspiração específica para cada estágio de crescimento, denominada evapotranspiração de cultura, e seus valores normalmente são encontrados na literatura (SRHE, 2010).

Figura 4 – Sistema de irrigação



Fonte: [www.teraambiental.com.br](http://www.teraambiental.com.br)

#### 4.5 EVAPOTRANSPIRAÇÃO E AS PROBLEMÁTICAS URBANAS

Uma problemática que atinge as áreas urbanas é: enchentes e inundações. As quais podem acontecer devido às precipitações intensas de amplo período de tempo, ou por mudanças no equilíbrio do ciclo hidrológico, ou também, pela própria urbanização.

Fatores modificadores como o desmatamento e a substituição da cobertura vegetal natural por pavimentos impermeáveis, são responsáveis de forma conjunta pelo aumento do volume de escoamento superficial e pela redução de tempos de concentração ( $T_c$ ), que conceitua-se como sendo o tempo, a partir do início da precipitação, necessário para que toda a bacia contribua com a vazão na seção de controle, causando assim o transbordamento de cursos d'água (Figura 5).

Observando a importância da relação entre o uso e ocupação do solo e os processos hidrológicos superficiais, deve-se focar primeiramente na abordagem dos problemas, considerando a extensão superficial na qual estas relações se apresentam (POMPÊO, 2000).

Ainda, pode-se mencionar a grande quantidade de sedimentos que são retirados pela erosão de áreas com solo exposto e lançados nos rios, causando seu assoreamento, assim como sistemas de drenagem deficientes ou impróprios para a condição local que não suportam a vazão existente (BOESE e TOMALACK, 2013).

Figura 5 – Alagamento na Avenida Francisco Porto – Aracaju/SE



Fonte: [www.senoticias.com.br](http://www.senoticias.com.br)

Conforme Tucci (1997), com a substituição da cobertura vegetal por pavimentos impermeáveis e a inclusão de condutos para o escoamento superficial, geram-se alterações no ciclo hidrológico, bem como, a redução da infiltração da água no solo. Desta forma, o volume que deixa de infiltrar fica na superfície, aumentando o escoamento superficial, além disso, como foram introduzidos condutos pluviais para o escoamento superficial, ocorre redução do tempo de deslocamento, aumentando assim as vazões máximas e antecipando seus picos.

Com a redução da infiltração, ocorre ainda, por falta de alimentação, a redução do escoamento subterrâneo. Em consequência da substituição da cobertura natural ocorre uma redução da evapotranspiração, pois a superfície urbana impermeabilizada não retém a água como a cobertura vegetal, não permitindo assim a evapotranspiração das folhagens e do solo.

As medidas estruturais para o controle das enchentes são aquelas onde há a implantação de obras de engenharia para se reduzir os riscos de enchente. As medidas estruturais podem ser divididas em extensivas ou intensivas, sendo que a primeira age na bacia hidrográfica, tentando alterar as relações entre precipitação e vazão, como por exemplo, modificar a vegetação da bacia em questão, diminuindo assim os picos da enchente e também auxiliando no controle de erosão da mesma. Já as medidas estruturais intensivas agem diretamente no rio, como por exemplo, a construção de bacias de amortecimento, canalizações, diques e reservatórios (BERTONI e TUCCI, 2003).

#### 4.6 EVAPOTRANSPIRAÇÃO E SUA INFLUÊNCIA NAS USINAS HIDRELÉTRICAS

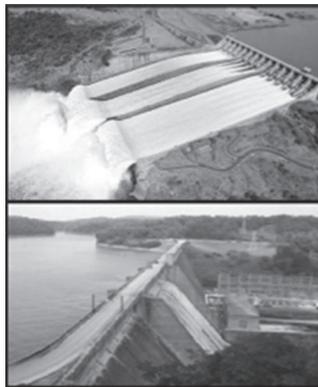
A evapotranspiração da bacia hidrográfica vai ter grande influência na construção de uma barragem de usina hidrelétrica, pois ela está diretamente ligada com a quantidade de precipitada na região, que está relacionado com o volume de água a ser represado. Um reservatório pode ser descrito por seus níveis e volumes característicos: o volume morto; o volume máximo; o volume útil; o nível mínimo operacio-

nal; o nível máximo operacional; o nível máximo maximorum. Outras características importantes são as estruturas de saída de água, eclusas para navegação, escadas de peixes, tomadas de água para irrigação ou para abastecimento, e eventuais estruturas de aproveitamento para lazer e recreação (COLLISCHONN e TASSI, 2009).

As estruturas de saída de água chamadas de vertedouros, que são dimensionados para permitir e controlar a passagem de uma cheia rara (vazão máxima) com segurança. Tem como função liberar o excesso de água que não pode ser aproveitado para geração de energia elétrica, abastecimento ou irrigação. Um vertedor pode ser livre ou controlado por comportas. O tipo mais comum de vertedor apresenta um perfil de rampa, para que a água escoe em alta velocidade, e a jusante do vertedor é construída uma estrutura de dissipação de energia, para evitar a erosão excessiva.

Nas fotografias da Figura 6, a seguir, é possível ver o vertedor da barragem de Itaipu em operação. Na outra fotografia o vertedor da barragem Norris, nos EUA, não está operando, o que significa que toda a vazão está passando através das turbinas.

Figura 6 – As barragens Norris (Clinch River, Tennessee, EUA) e Itaipu (Rio Paraná, Brasil-Paraguai)



Fontes: [www.pt.mystockphoto.com](http://www.pt.mystockphoto.com) e [brazilplanet.com.br](http://brazilplanet.com.br)

## 5 CONCLUSÕES

A água é a fonte fundamental na existência da vida na terra e hoje está ficando cada vez mais escassa, devido ao uso indevido e indiscriminado. A água vem sendo fonte de grandes estudos, e para inteirar-se mais sobre este recurso é necessário conhecer as variáveis hidrológicas e fazer o controle preciso, para que se possa economizar e dar o uso devido.

Em virtude do que foi mencionado, pode-se perceber que a evapotranspiração é uma variável hidrológica de fundamental importância para as realizações de

obras da engenharia civil, pois ela está diretamente ligada à precipitação, que por sua vez vai influenciar nos picos de vazões. E a falta de conhecimento deste pico de vazão pode ocasionar em tragédias como: deslizamento, enchentes e inundações, secas, desperdício de água etc. Saber dimensionar essas obras é responsabilidade do engenheiro, que muitas das vezes não tem um embasamento de hidrologia necessário para aplica-los, deixando de lado a variável evapotranspiração.

## REFERÊNCIAS

BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. M. **Inundações urbanas na América do Sul**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003.

BOESE, J. P. B.; TOMALACK, J. G. **Análise dos fatores contribuintes para enchente urbana no município de Coronel Vivida – PR**. 2013. 63f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2013.

COELHO F. M. A.; PEREIRA, F. A. de C. ; ANGELOCCI, L. R. O ; COELHO, E. F ; OLIVEIRA, G. X. S. O processo de evapotranspiração. In: Sousa, V. F. de, Marouelli, W. A.; Coelho, E. F., Pinto, J. M., Coelho Filho, M. A.. (Org.). **Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2011.

COLLISCHONN, W. Evaporação e Evapotranspiração. **Apostila de Hidrologia Aplicada**. Rio Grande do Sul: UFRGS/IPH, 1998.

COLLISCHONN, W.; TASSI, R. **Introduzindo Hidrologia**. (Desenvolvimento de material didático ou instrucional - Apostila do curso de Hidrologia). 2009.

FREITAS, M. M. **Comportamento hidrológico e erosivo de bacias montanhosa sob uso agrícola: estação experimental do rio Boa Vista, Nova Friburgo – RJ**. 1998. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1998.

GARCEZ, L. N.; ALVAREZ, G. A. **Hidrologia**. 2.ed., rev. e atual. São Paulo, SP: Blücher, 2012.

MEDEIROS, P. V. **Análise da evapotranspiração de referência a partir de medidas lisimétricas e ajuste estatístico de estimativas de nove equações empírico-teóricas com base na equação de Penman-Monteith**. 2008. 241f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil - Hidráulica e Saneamento) – USP, São Carlos, 2008.

MOURA, A. R. C. **Estimativa da evapotranspiração de referência em bacia experimental na região nordeste**. 2009. 115f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia e Recursos Hídricos) – UFPE, Recife, 2009.

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapotranspiração**. Piracicaba: FE-ALQ, 1997.

PITA, R. F. Q. **Influência das mudanças climáticas no cálculo da evapotranspiração no semi-árido da Paraíba**. 2011. 48f. TCC (Curso de Engenharia Civil) – UFPB - Centro de Tecnologia, João Pessoa, 2011.

POMPÊO, C. A. Drenagem urbana sustentável. **RBRH- Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.5, n.1, Jan/Mar 2000.

PORTO, R. L., FILHO, K. Z., SILVA, R. M., DOURADO, S. S. **Apostila de Hidrologia Aplicada**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária PHD – 307 Hidrologia Aplicada, 2000.

SEDIYAMA, G. C. Estimativa da evapotranspiração: histórico, evolução e análise crítica. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, 1996.

SHUTTLEWORTH, W. J. Evaporation. In: MAIDMENT DR. **Handbook of Hydrology**. New York, USA: McGraw Hill, 1993.

SILVA, A. M.; MELLO, C. R. de. **Bacias Hidrográficas**. Lavras: UFLA (Notas de aulas da disciplina Hidrologia), 2003.

SRHE. Plano Hidroambiental do Rio Capibaribe. 2010. Disponível em: <<http://www.srh.srh.gov.br/hidroambiental/>>. Acesso em: 20 set. 2014.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 2.ed. Porto Alegre: UFRGS / ABRH, 2001.

TUCCI, C. E. M. **Água Doce**. Cap. 14. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1997.

TUCCI, C.E.M. **Hidrologia Ciência e Aplicação**. 2.ed. Porto Alegre: Universidade ABRH, 1993.

TUNDISI, J.G, & Tundisi, T.M. A água. São Paulo, **Publifolha** (Folha Explica), 2005.

---

**Data do recebimento:** 27 de Agosto de 2014

**Data da avaliação:** 5 de Janeiro de 2015

**Data de aceite:** 15 de Janeiro de 2015

---

---

1 Graduando em Engenharia Civil – Universidade Tiradentes (UNIT). E-mail: vitoresplanada@hotmail.com

Ciências exatas e tecnológicas | Aracaju | v. 2 | n. 3 | p. 21-36 | Março 2015 | [periodicos.set.edu.br](http://periodicos.set.edu.br)