

BACIA EXPERIMENTAL DO RIO GUARAÍRA: IMPLANTAÇÃO E PRIMEIROS RESULTADOS

Gustavo Arruda Ramalho Lira¹; Alain M. B. P. de Silans; Laudelino Pedrosa Filho; Cristiano das Neves Almeida; Eugênio Pacelli F. Leite²; Tarciso Cabral da Silva; Sebastião Vitorino Filho; Eulina Maria de Moura; Edilson Edmar de Sousa & Luiz Dias da Silva

Resumo - O projeto IBESA – Implantação de Bacias Experimentais no Semi-árido – visa a implantação de bacias experimentais a serem monitoradas por sete universidades federais do Nordeste do Brasil com a finalidade de aprofundar os conhecimentos sobre a hidrologia da região Semi-Árida, realizando em diversas escalas de tempo os balanços hídricos e energéticos. A bacia experimental escolhida pelo grupo de trabalho do Laboratório de Recursos Hídricos e Engenharia Ambiental da Universidade Federal da Paraíba - UFPB foi a do rio Guaraíra, sub bacia do rio Gramame, aceita como representativa das bacias litorâneas do Nordeste. O presente trabalho apresenta as características físicas da bacia do rio Guaraíra, uma breve descrição dos equipamentos implantados, e ainda uma amostra dos primeiros dados coletados.

Abstract - Project IBESA - Implantation of Experimental Basins in the Semi-Arid - aims the implantation of experimental basins to be monitored by seven Federal Universities in the Northeast of Brazil. It has the purpose to better understand the behaviour of the Semi-Arid region hydrology, accomplishing the water and energy balances in different scales of time. The Universidade Federal da Paraíba - UFPB research group chose Guaraíra basin as experimental basin. It is a Gramame River sub basin, which seems representative in relation to the Northeast's littoral basins. This paper presents the Guaraíra basin through its physical characteristics, a short description of the implanted equipments and shows some of the first collected data.

Palavras-chave - bacias experimentais, hidrologia física, monitoramento

¹ Universidade Federal da Paraíba – UFPB - CT - Laboratório de Recursos Hídricos e Engenharia Ambiental - Campus I, Cidade Universitária - João Pessoa - PB CEP 58.059 900 – Fone (83) 216-7684 - e-mail: gustavo@lrh.ct.ufpb.br

² CEFET - Centro Federal de Educação Tecnológica da Paraíba, João Pessoa, PB.

INTRODUÇÃO

Para a realização do balanço hídrico e energético no âmbito de uma bacia hidrográfica é necessário que haja um adequado monitoramento das variáveis hidroclimatológicas intervenientes nestes processos. Dificilmente teríamos condições de realizar tal monitoramento para médias ou grandes bacias, pois são vários os fatores que precisam ser quantificados e para tanto seriam necessários vários equipamentos de custo elevado. Desta forma, as bacias experimentais surgem como uma opção prática para esta realização de um monitoramento adequado a esta finalidade. A instalação de equipamentos de medição das variáveis hidroclimatológicas em bacias experimentais objetiva analisar e compreender, em uma escala menor, o seu comportamento hidroclimatológico. E, posteriormente, através de fatores de escala buscar o entendimento de suas bacias representativas.

Em países desenvolvidos a operação de bacias experimentais está consolidada, uma vez que nestes países há uma preocupação com os aspectos quali-quantitativos do meio ambiente e, em especial, dos recursos hídricos. Desta maneira, se monitora o tempo e clima para simular e entender as interferências das mudanças climáticas e nas disponibilidades hídricas de uma bacia hidrográfica, por exemplo.

No Brasil, notam-se grandes avanços na área de planejamento e gerenciamento de recursos hídricos nos últimos oito anos, isto pelo fato da criação da Política Nacional de Recursos Hídricos, a lei federal de número 9.433, de 1997. Porém os avanços alcançados por esta lei não foram seguidos por avanços na área da hidrologia experimental. Desta forma, modelos vêm sendo utilizados para simular bacias hidrográficas e apoiar as decisões sobre os usos dos recursos hídricos sem considerar erros devidos à escassez de dados e outros fatores, fato comum em países em desenvolvimento.

Neste país, em particular no Nordeste brasileiro, dificilmente são encontradas séries longas de dados fluviométricos, o que sugere a utilização de modelos para expansão destas séries. Nestas simulações erros ficam embutidos nos parâmetros. Por exemplo, é comum se utilizar modelos concentrados para simular grandes bacias com centenas de açudes de pequeno, médio e grande porte, os quais modificam todo o funcionamento hidráulico-hidrológico da bacia hidrográfica.

Ainda no Brasil, mais precisamente na década de 70 da UNESCO através de uma cooperação entre a SUDENE – Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste – e a ORSTOM / França – Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer – implementou-se um trabalho pioneiro no Brasil, onde foram implantadas 8 bacias representativas no Nordeste. Um dos principais objetivos era a obtenção de dados para possibilitar a regionalização das lâminas d'água escoadas.

Tendo em vista a estas questões e objetivando entender melhor o balanço hidro-energético de bacias hidrográficas localizadas na região Semi-Árida, vem sendo implementado atualmente o projeto IBESA – Implantação de Bacias Experimentais no Semi-Árido – que conta com a

participação de sete Universidades Federais do Nordeste: UFPB (Paraíba), UFCG (Campina Grande), UFC (Ceará), UFBA (Bahia), UFAL (Alagoas), UFPE (Pernambuco) e UFRPE (Rural de Pernambuco). Este projeto é desenvolvido no âmbito da REHISA (Rede de Hidrologia do Semi-Árido). Tem ainda como objetivo a quantificação de erros na geração de séries de vazões sintéticas advindos das imprecisões dos modelos hidrológico do tipo chuva-vazão atualmente utilizados, entre outros.

No caso do grupo de pesquisa do LARHENA – Laboratório de Recursos Hídricos e Engenharia Ambiental – da UFPB foi escolhida uma bacia experimental na bacia hidrográfica do Rio Gramame na região litorânea Sul do estado, que tem elevada importância para o abastecimento de água de João Pessoa, capital do Estado e outros municípios vizinhos.

Assim, este artigo após contextualizar os trabalhos em desenvolvimento, apresentará uma breve revisão sobre as bacias representativas e experimentais. Em seguida, passa-se à descrição das principais características da área de estudo, mais precisamente, a bacia representativa e a bacia experimental, apresentando ainda para a segunda bacia os equipamentos de monitoramento nela instalados, e suas características fisiográficas, dando uma ênfase ao processo de levantamento da topografia da bacia experimental. Por fim, são apresentados os primeiros resultados obtidos através do monitoramento bem como abordadas as próximas etapas do projeto IBESA na bacia .

BACIAS REPRESENTATIVAS E BACIAS EXPERIMENTAIS

As bacias representativas são bacias escolhidas como sendo representantes de uma área hidrológicamente homogênea, isto é, de uma área onde se saiba que exista uma certa homogeneidade do ponto de vista fisiográfico e hidroclimatológico, ou seja, que tenha mesmo regime pluviométrico e fluviométrico, tempo e clima com características semelhantes e, quando possível, características fisiográficas e geomorfológicas semelhantes também. Uma rede não muito densa de bacias representativas pode assim refletir as características hidrológicas gerais de uma região (Unesco, 1970), por exemplo, a região semi-árida.

Com a finalidade de se obter uma boa representatividade dos dados, torna-se preciso medir um vasto número de variáveis durante um longo período. Portanto, as bacias representativas devem ser submetidas ao menor número possível de modificações durante o período de estudo, sejam de causas naturais ou humanas. Caso estas modificações ocorram, devem ser cuidadosamente registradas. Quanto ao seu tamanho, será função da sua natureza e os objetivos do estudo. No entanto, a maioria das bacias representativas tem dimensão entre 100 e 250 km², não ultrapassando 1000 km², pois neste caso haverá um comprometimento da homogeneidade de algumas características da bacia além da dificuldade de organizar os equipamentos hidroclimatológicos.

As bacias experimentais, muito menores, constituem verdadeiros “laboratórios” dentro da bacia representativa. Na publicação da Unesco, intitulada “Les bassins représentatifs et expérimentaux” (Unesco, 1970) há uma sugestão que estudos devem ser dirigidos para ao menos um dos seguintes objetivos: a pesquisa hidrológica fundamental, o efeito das mudanças naturais da bacia na modalidade hidrológica e a previsão hidrológica. Por exemplo, as suas características de cobertura vegetal podem ser modificadas para testar os seus efeitos sobre a resposta hidrológica ou, ela pode ser instrumentada com bastante densidade para desenvolvimento de modelos matemáticos.

O tamanho das bacias experimentais deve ter cerca de 1 a 15 km², tendo em vista o nível dos detalhes do estudo a ser realizado.

A ÁREA DE ESTUDO

A bacia representativa

A área de estudo escolhida pelo grupo de pesquisa do LARHENA localiza-se na bacia hidrográfica do Rio Gramame (Figura 1), que tem uma importância fundamental para o abastecimento humano da Grande João Pessoa – GJP, capital do Estado da Paraíba. Nesta bacia encontra-se o açude Gramame-Mamuaba com 56 milhões de m³, manancial este utilizado para o abastecimento público, comercial e industrial da GJP. A GJP é formada pelos municípios de João Pessoa capital do Estado da Paraíba, Cabedelo, Bayeux e Santa Rita, que apresentam atualmente com uma população de aproximadamente 900 mil habitantes.

Do ponto de vista climatológico, observa-se que o período chuvoso se concentra em 5 meses, compreendidos entre março e julho, tendo uma precipitação anual média de aproximadamente 1.600 mm. Segundo a classificação de Köppen, quase toda a região envolvida neste estudo localiza-se em clima tropical chuvoso. A evaporação, medida em tanque classe A na estação climatológica de Marés, apresenta um valor médio de 1.300 mm/ano. Apesar destes índices a região de estudo apresenta características da região semi-árida, inclusive com ocorrência de vegetação semelhante à encontrada na região semi-árida.

A escolha desta bacia foi baseada na sua representatividade em relação às bacias encontradas no litoral nordestino. Suas características físico e bióticas se assemelham às bacias litorâneas localizadas do Estado de Alagoas até o Estado do Rio Grande do Norte.

A bacia experimental

A bacia do rio Guaraíra, sub-bacia da bacia hidrográfica do rio Gramame, foi escolhida como experimental e conseqüente implantação dos equipamentos de monitoramento hidrológico. Sua

localização pode ser observada na figura 1. A área é compatível com a desejada (até cerca de 15 km²) e a sua proximidade da cidade de João Pessoa constitui uma importante vantagem operacional.

A bacia do rio Guaraíra possui uma área de 5,84 km², localiza-se em uma região do município de Pedras de Fogo, em propriedade da agroindústria GIASA – Gramame Agro Industrial S.A. Está localizada entre as latitudes 9.190,80 km e 9.195,25 km e longitudes 274,50 km e 277,00 km (coordenadas UTM).

Esta bacia é bastante antropizada, à imagem de todas bacias litorâneas do Nordeste, ocupada principalmente por plantações de cana-de-açúcar. No entanto, as vegetações denominada capoeira e Mata Atlântica são remanescentes (figura 2).



Figura 1 – Localização da bacia hidrográfica do Rio Gramame e da bacia experimental.

Na bacia foram instalados quatro estações pluviométricas, uma estação fluviométrica e uma estação climatológica.

As Estações Pluviométricas

As estações pluviométricas instaladas são equipadas com um pluviômetro digital e uma sonda TDR (*Time Domain Reflectometry*), ambas ligadas a um data-logger. Os dados medidos são armazenados a cada 60 minutos em um data-logger, alimentado por bateria e painel solar. No entanto, na ocorrência de chuvas estas são registradas a cada minuto. A localização das estações foi escolhida de modo a garantir uma boa distribuição na bacia e em locais livres de obstrução.

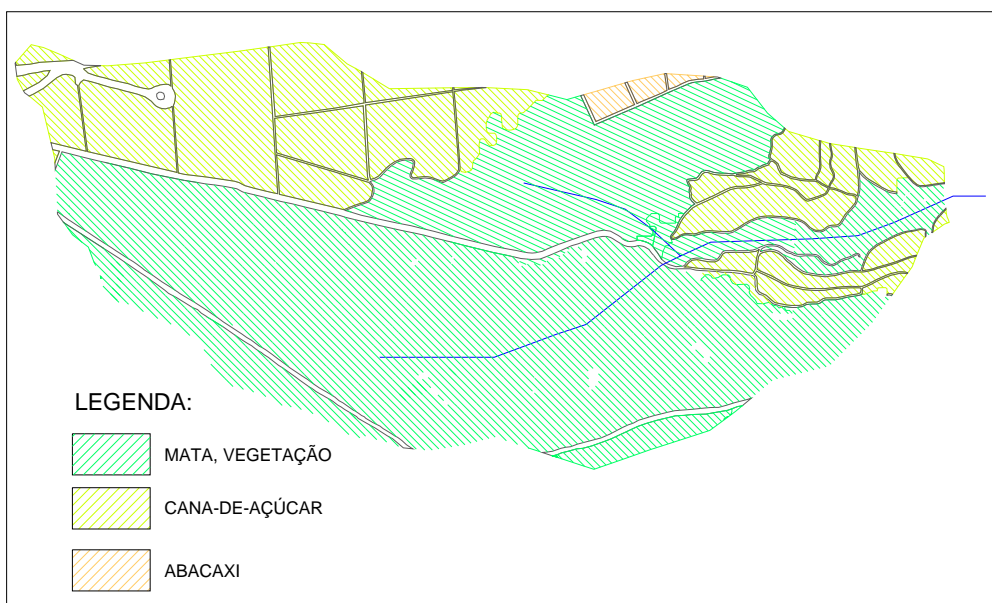


Figura 2 – Uso do solo na bacia experimental.

A Estação Fluviométrica

Na estação fluviométrica foi instalado um medidor de nível d'água (sensor de pressão na faixa de 0 a 5 psi com resolução de 0,005 psi). Os dados são armazenados em um data-logger, alimentado por bateria e painel solar, a cada 10 minutos. A seção de medição encontra-se num trecho linear e estável do riacho, sendo assim, nenhuma modificação na sua forma foi necessária para a implantação do sensor. A figura 3 mostra a seção considerada.

A Estação Climatológica

A estação climatológica registra o valor de sete variáveis hidroclimatológicas, a saber: a umidade média do solo numa camada de 30 cm logo abaixo da superfície; a temperatura do solo a 5, 10 e 20 cm; a intensidade de radiação solar; a umidade relativa e a temperatura do ar; a direção e a velocidade do vento; a pressão barométrica e a quantidade de água precipitada. As medições são armazenadas a cada 15 minutos em um data-logger, alimentado por bateria e painel solar. Em eventos chuvosos a precipitação é também armazenada a cada minuto. A figura 4 mostra a estação.



Figura 3 – Seção de medição dos níveis fluviométricos.



Figura 4 – Estação Climatológica.

CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DA BACIA EXPERIMENTAL

Levantamento Topográfico

Um levantamento topográfico minucioso foi realizado utilizando o método convencional através de estação total na região da bacia recoberta por mata atlântica, e GPS nas demais regiões. Uma carta topográfica na escala 1:10.000 foi gerada (figura 5).

Bacia do Rio Guraíra

ÁREA TOTAL= 5,84 km²

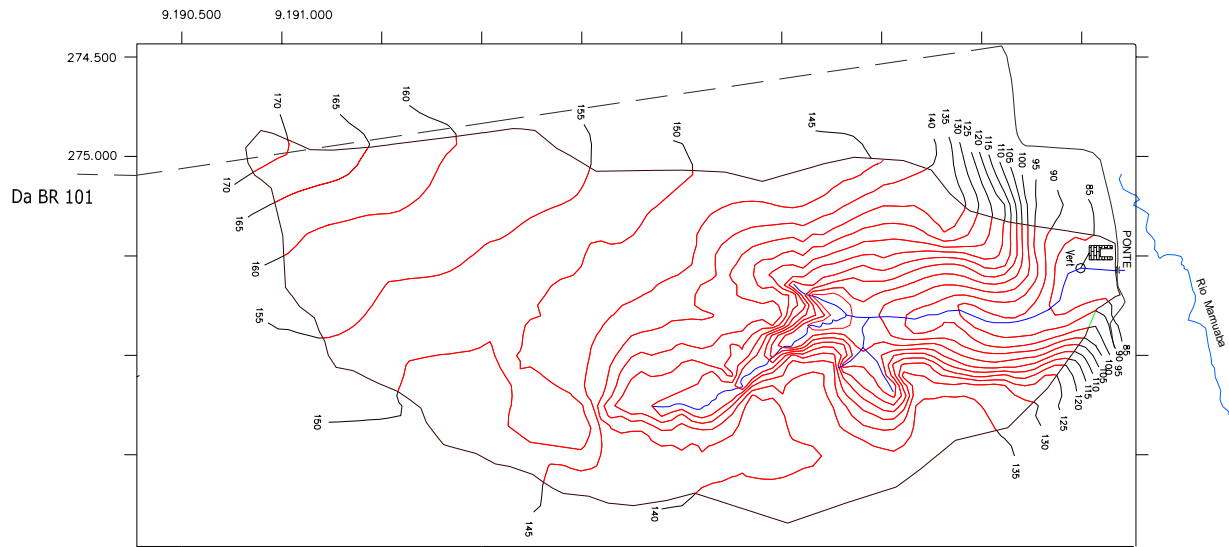


Figura 5 – Carta planialtimétrica da bacia do rio Guraíra.

Características fisiográficas da bacia experimental

As características físicas de uma bacia hidrográfica são fundamentais em todo o seu comportamento hidrológico, já que há uma estreita relação entre elas e seu regime hidrológico. Estes elementos são úteis, pois podem ser utilizados para estabelecer relações e comparações entre duas bacias hidrográficas quaisquer, fazendo com que dados hidrológicos conhecidos possam ser aplicados em uma outra bacia semelhante, onde por motivos quaisquer não seja possível instalar estações hidrométricas (Vilela & Mattos, 1943). Nouvelot & Ferreira (1977), utilizaram estas características para definir zonas hidrológicamente homogêneas em todo o Semi-Árido do Brasil.

As principais características físicas da bacia hidrográfica experimental são apresentadas e determinadas a seguir:

Área de Drenagem (A)

A área de drenagem da bacia foi obtida através do mapa digitalizado da bacia, na escala de 1:10.000. A delimitação da bacia foi feita com base no seu divisor topográfico. A área total da bacia é de 5,84 km².

Forma da Bacia

A forma superficial da bacia é o principal parâmetro físico utilizado para determinar o tempo de concentração de uma bacia hidrográfica. A determinação da forma da bacia é realizada

calculando os seguintes parâmetros: perímetro da bacia (P), comprimento do curso d'água principal (Lp), fator forma (Kf), coeficiente de compacidade (Kc) e retângulo equivalente (quadro 1).

Quadro 1- Parâmetros de forma da bacia hidrográfica do rio Guaraíra.

A (Km ²)	P (Km)	Lp (Km)	K _f	K _c	L (Km)	l (Km)
5,84	10,69	2,73	0,78	1,25	3,56	1,83

Rede Hidrográfica

A rede hidrográfica de uma bacia é descrita pelo perfil longitudinal do seu curso principal, pelo coeficiente de confluência, pelo coeficiente de comprimento e pela densidade de drenagem.

Na bacia do rio Guaraíra, devido à ausência dos nomes dos afluentes do rio, será indicado apenas os locais onde deságuam os afluentes. O gráfico do perfil longitudinal do rio principal pode ser acompanhado na figura 6.

O quadro 2 mostra em resumo os resultados obtidos para o coeficiente de confluência da bacia. O valor encontrado para o Rc foi 2, o que representa o valor mínimo teórico para o seu valor.

O coeficiente de comprimento é a relação entre o comprimento médio dos cursos d'água de ordem x e (x-1) (SEMARH, 2000). O quadro 2 mostra também os resultados obtidos para o coeficiente de comprimento de toda a bacia.

A densidade de drenagem é inversa à extensão do escoamento superficial, indicando a eficiência da drenagem da bacia. Para a bacia do rio Guaraíra, o valor encontrado foi de 0,623 Km/Km².

Quadro 2 - Número de cursos d'água, comprimento médio e outros parâmetros.

Ordem dos Rios	Número de Rios Existentes	Comprimento Médio (Km)	Coeficiente de Confluência	Coeficiente de Comprimento
Primeira	4	1,97	2	0,14
Segunda	2	0,28	2	4,96
Terceira	1	1,39	-	-

Relevo

O relevo da bacia está diretamente relacionado com o escoamento superficial pois influencia no tempo de concentração da mesma. Os parâmetros físicos que caracterizam uma bacia quanto ao

seu relevo, a declividade da bacia e a curva hipsométrica, fornecem uma idéia geral do relevo, o valor da altitude média, da altitude mediana, e do Índice de Declividade Global (Ig).

Para o rio Guaraíra a curva pode ser verificada na figura 7 abaixo. Com base na curva hipsométrica outros dados foram obtidos, como a altitude mediana, correspondente a 50% da área da bacia, e a altitude média da bacia, que corresponde a altura do retângulo de área igual a contida entre a curva e os eixos coordenados. Estes valores foram respectivamente iguais a: 142,5 m e 138,06 m.

Para se obter o Índice de Declividade Global, proposto por Dubreuil, citado por Nouvelot e Ferreira (op. cit.), é necessário conhecer as altitudes correspondentes a 5% e 95%. O índice é obtido subtraindo estes valores e dividindo-se pelo comprimento do maior lado do retângulo equivalente.

Para a bacia em questão, os valores obtidos foram: $H_{5\%} = 161$; $H_{95\%} = 95$; $Ig = 18,53$. A partir deste índice, pode-se classificar o relevo a partir de um novo índice, chamado de “Índice de Desnível Específico”. Este índice é calculado de acordo com a equação 1:

$$Ds = Ig \cdot \sqrt{A} \quad (1)$$

No caso da bacia do rio Guaraíra o valor do Ds é de 44,77.

A classificação do relevo é feita em sete classes, de acordo com a tabela 1 abaixo, introduzida por Nouvelot e Ferreira (op. cit.) para a região nordeste. De acordo com esta classificação pode-se classificar o relevo da bacia como suave.

Tabela 1: Classificação do relevo de acordo com o índice Ds .

Classe	Valor do Ds
R1 – Relevo muito suave	$Ds < 10m$
R2 – Relevo bastante suave	$10 < Ds < 25$
R3 – Relevo suave	$25 < Ds < 50$
R4 – Relevo ondulado	$50 < Ds < 100$
R5 – Relevo forte	$100 < Ds < 250$
R6 – Relevo bastante forte	$250 < Ds < 500$
R7 – Relevo muito forte	$500 < Ds$

A declividade da bacia influi na velocidade com que se dá o escoamento superficial. Uma fórmula aproximada para obter a declividade média de uma pequena bacia hidrográfica, relaciona a

equidistância entre duas curvas de nível (D), o comprimento total das curvas (L) e a área da bacia (A), da seguinte forma (equação 2):

$$I = \frac{DL}{A} \quad (2)$$

Para a bacia do rio Guaraíra, a declividade média foi de 0,0455 m/m.

Extensão Superficial Média

A extensão superficial média é outro parâmetro indicativo da capacidade de gerar escoamento superficial em uma bacia hidrográfica. Este índice é tido como a distância que água precipitada teria de percorrer sobre o terreno para atingir o curso d'água (SEMARH, 2000). A extensão superficial média é calculada pela seguinte equação:

$$ESM = \frac{A}{4L} \quad (3)$$

Para a bacia do rio Guaraíra, a extensão superficial média é de 0,41 Km.

Perfil Longitudinal do Rio Principal

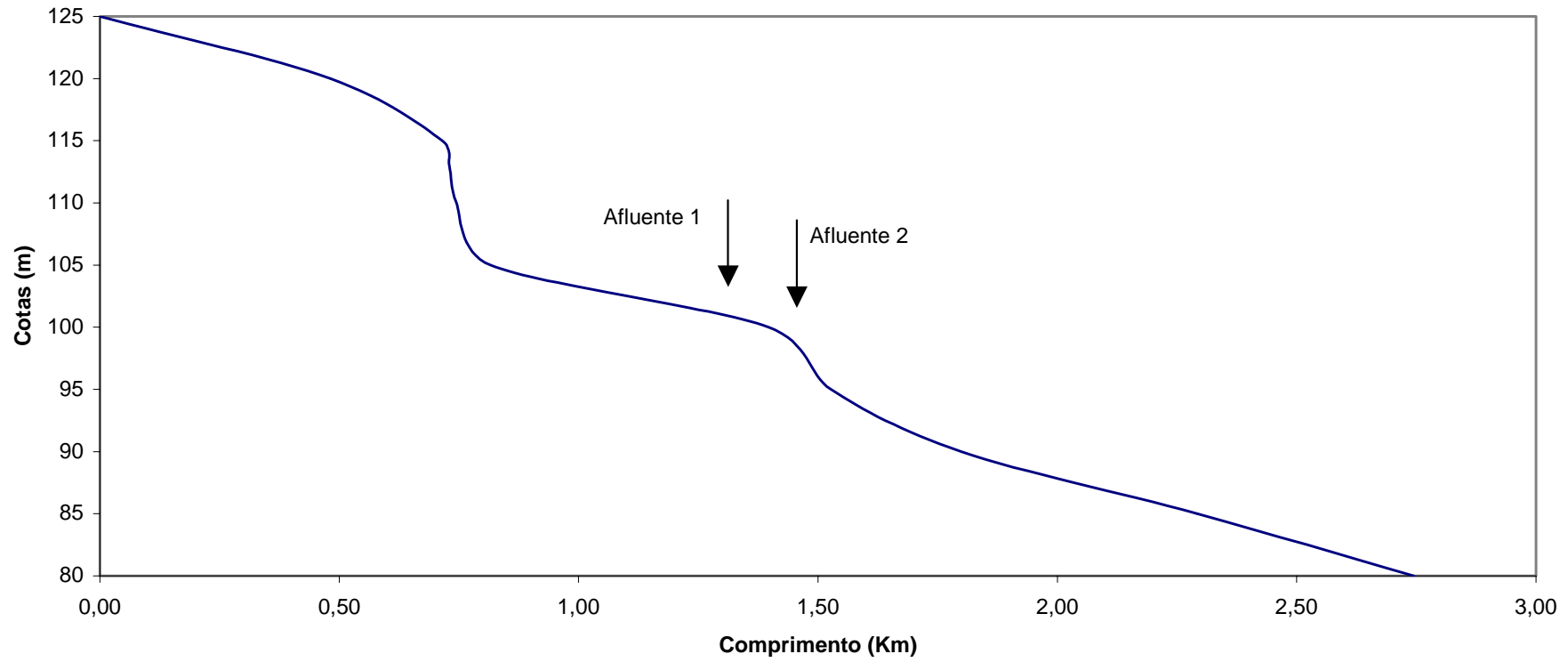


Figura 6 - Perfil Longitudinal do Rio Principal.

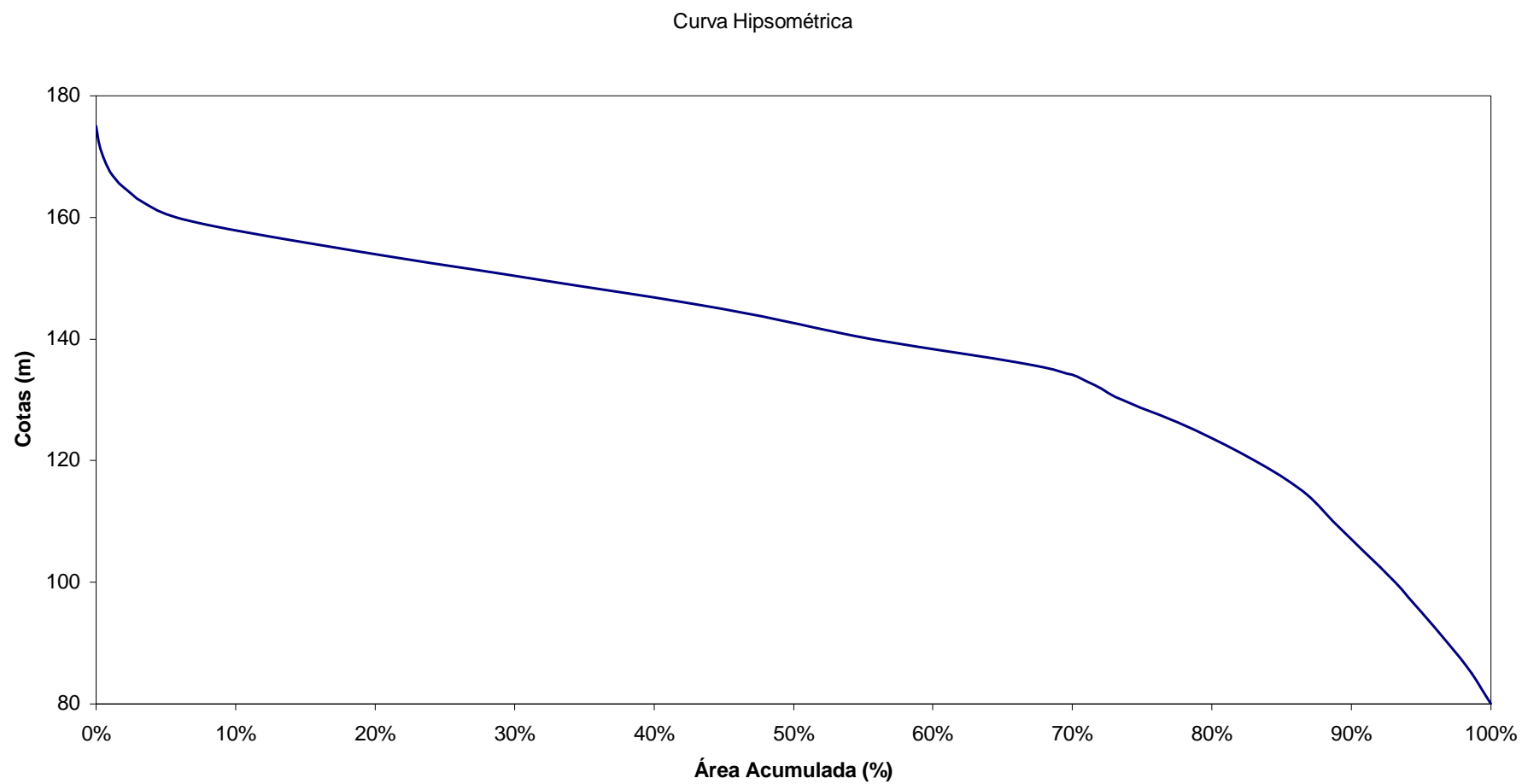


Figura 7 – Curva hipsométrica da bacia do Rio Guaraíra.

A figura 8 apresenta uma representação tridimensional do relevo da bacia.

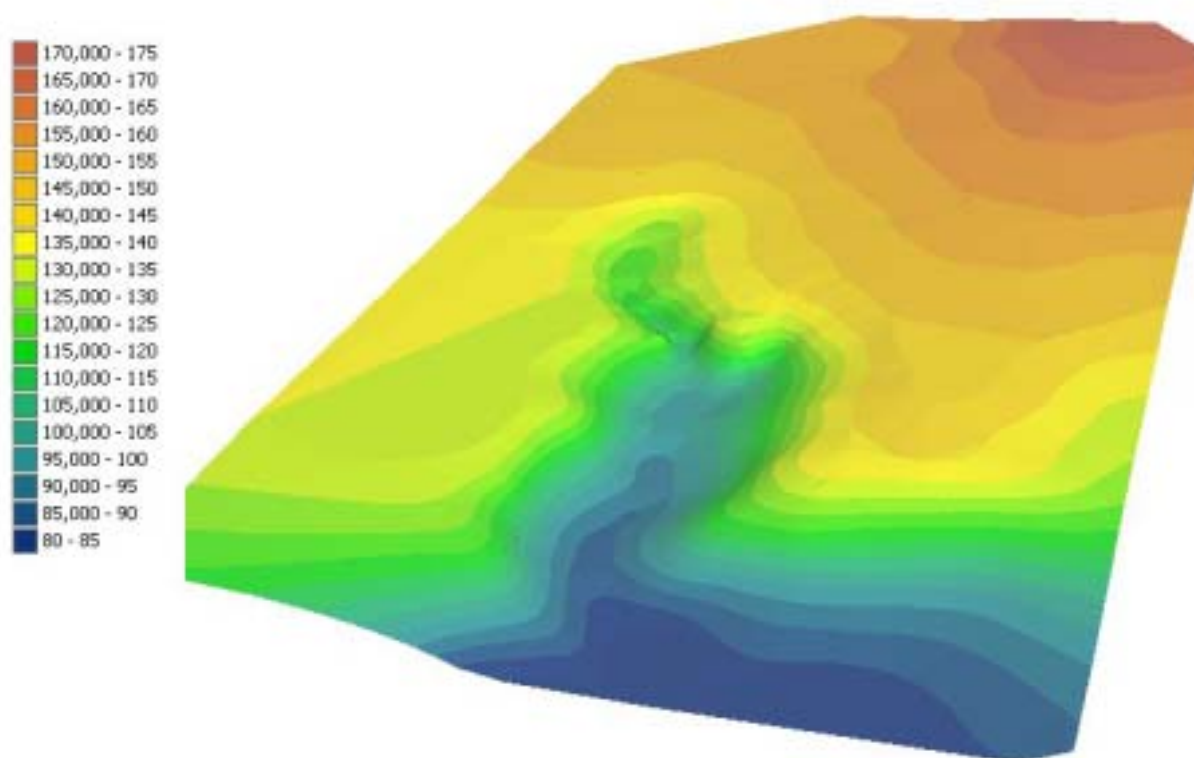


Figura 8 - Representação tridimensional do relevo da bacia.

PRIMEIROS RESULTADOS

A figura 9 mostra a variação da temperatura do solo medida a três profundidades: 5 centímetros, 10 centímetros e 20 centímetros. Durante o intervalo mostrado, de 12 de março a 15 de março, não houveram eventos chuvosos significativos. Pode-se assim verificar o comportamento da troca energética entre as diferentes profundidades, e ainda as pequenas variações de temperatura nas profundidades durante as baixas temperaturas em comparação com as mais altas.

As demais figuras seguintes apresentam o valor das variáveis medidas em dois eventos chuvosos consecutivos ocorridos entre os dias 18 de abril e 8 de maio.

Percebe-se na figura 10, a resposta hidrológica da bacia às precipitações. É importante notar que na ordenada se tem a altura da lâmina d'água medida e não a vazão. A curva-chave está em fase de elaboração.

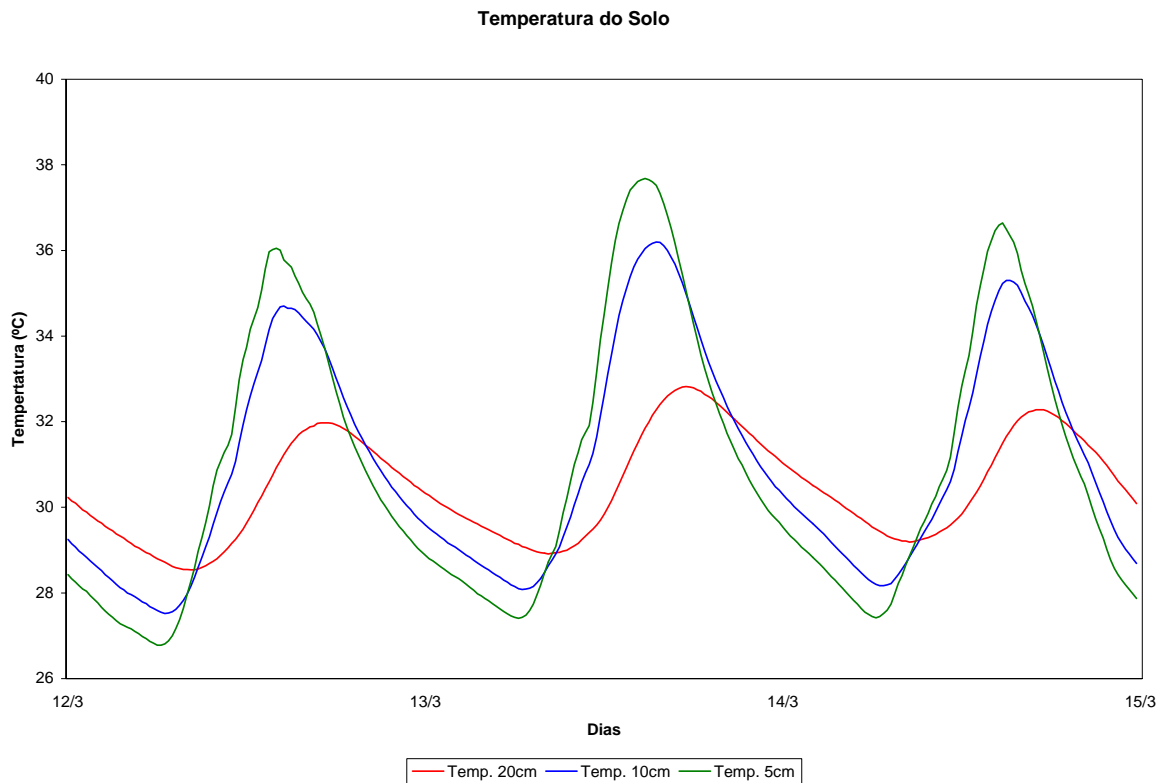


Figura 9 - Temperatura média do solo a 20 cm, 10 cm e 5 cm.

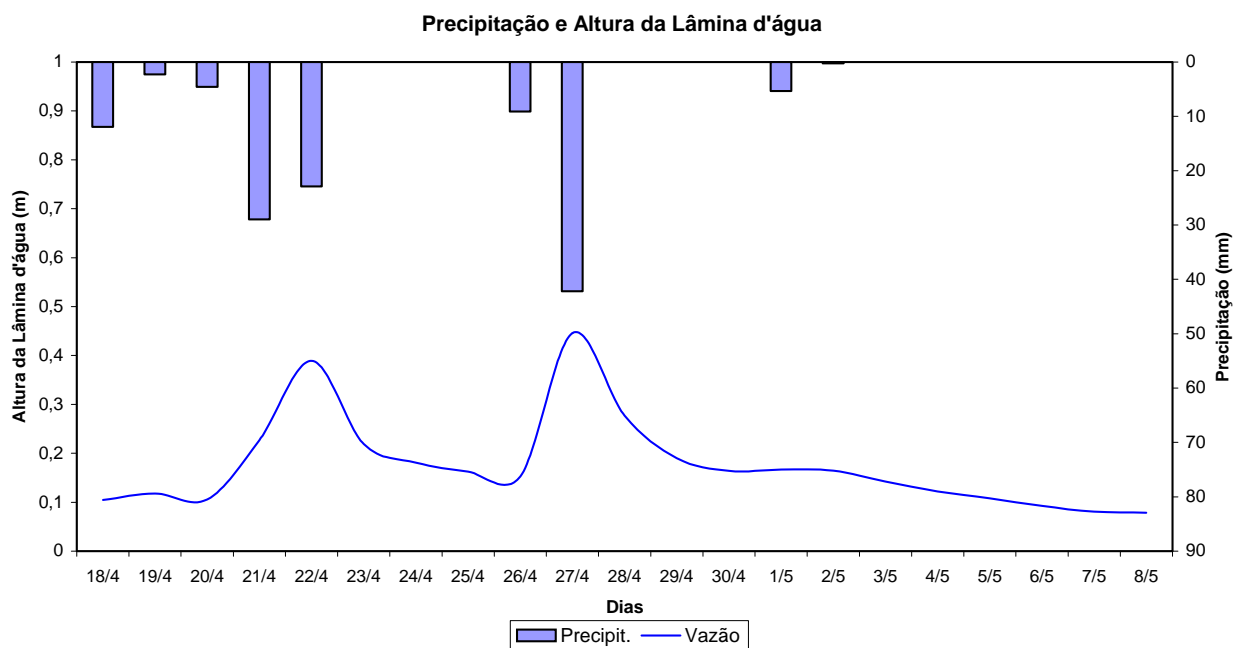


Figura 10 - Precipitação diária e altura da lâmina d'água na seção de medição.

Na figura 11, percebe-se como o solo respondeu à chuva ocorrida. Na ordenada tem-se o valor do período em microssegundos da onda recebida pelo eletrodo do TDR. Este período tem relação

direta com a umidade do solo. Este valor será convertido em umidade volumétrica quando da calibração da sonda.

Na figura 12 pode-se verificar a evolução da irradiação solar diária. Analisando o gráfico percebe-se um acompanhamento da curva em relação às precipitações ocorridas, já que o eixo secundário das ordenadas, o da precipitação diária, está em ordem inversa.

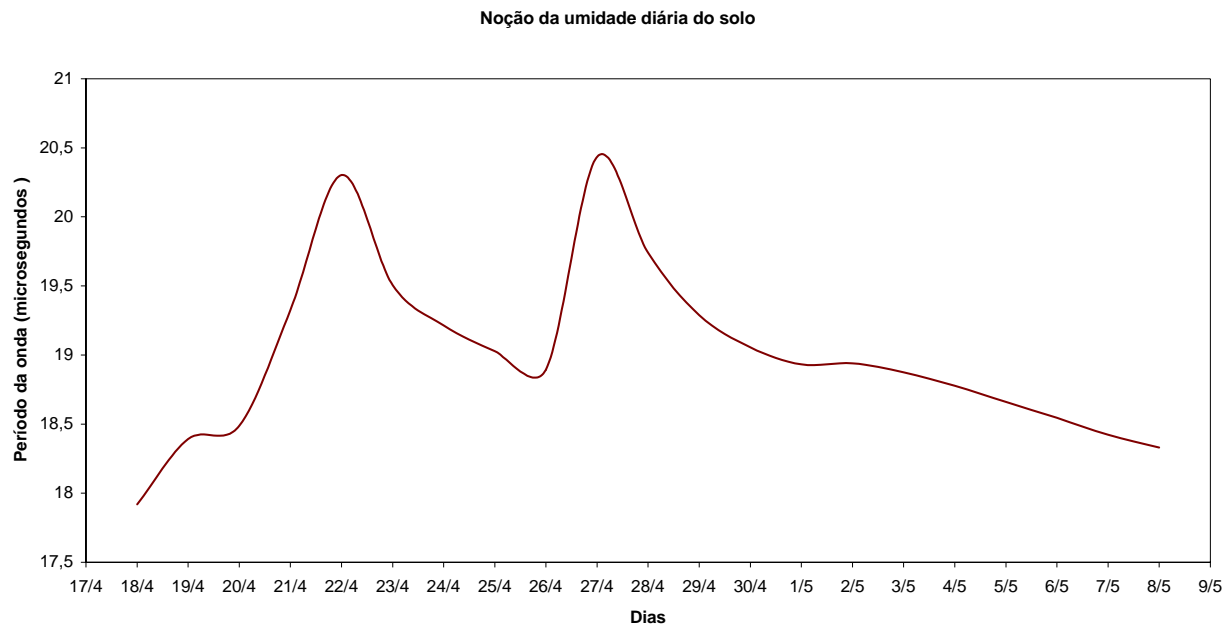


Figura 11 - Umidade média diária do solo.

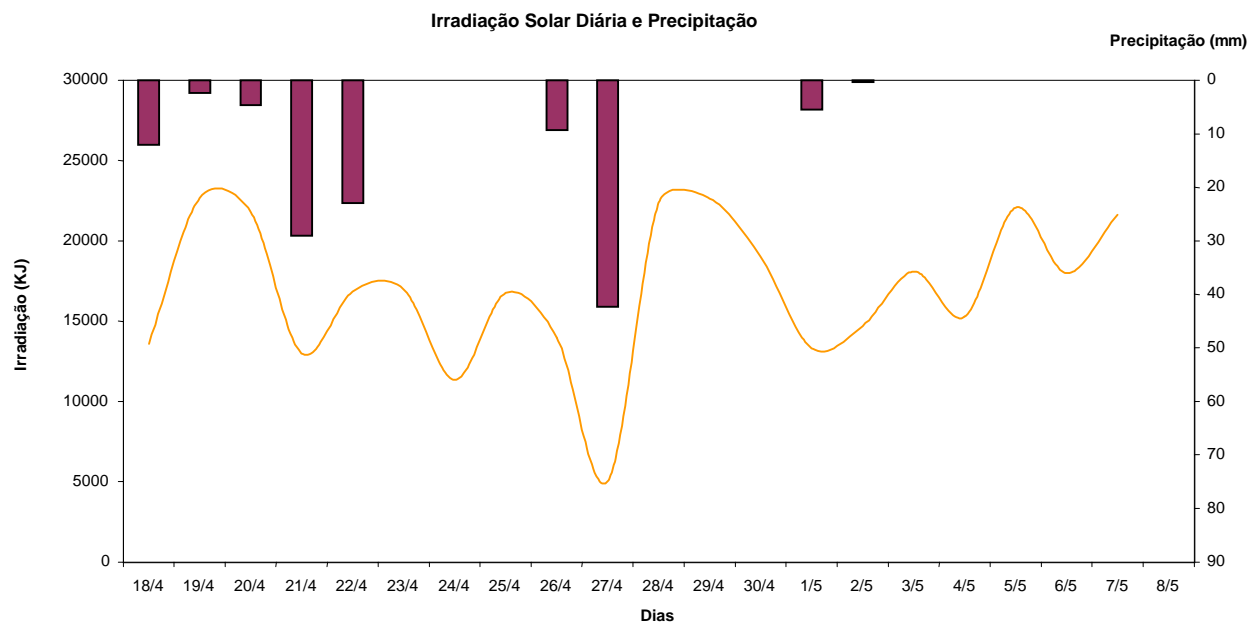


Figura 12 - Evolução da irradiação solar diária.

A figura 13 mostra a variação da temperatura e da umidade relativa do ar. Analisando-se o gráfico percebe-se a relação entre ambas as variáveis.

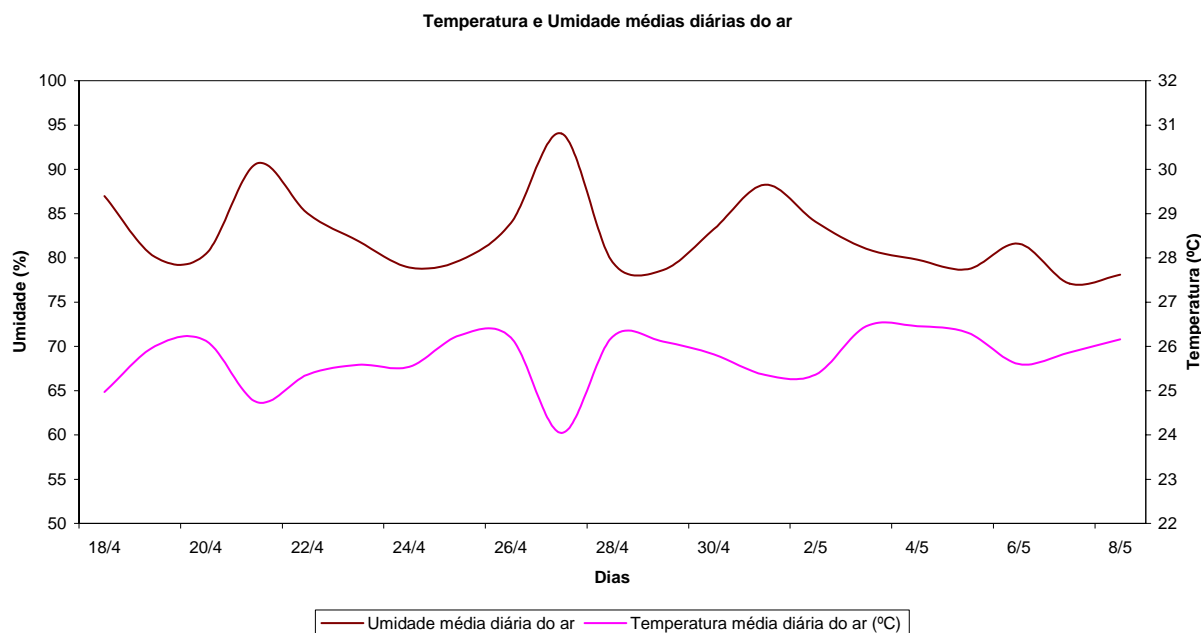


Figura 13 - Temperatura e umidade relativa do ar

PRÓXIMAS ETAPAS A SEREM CUMPRIDAS

Para o monitoramento mais completo da bacia experimental, há várias etapas e ações a serem desenvolvidas ainda, que são:

- Calibração da sonda TDR (umidade do solo);
- Determinação da curva-chave: através da medição da vazão em vários níveis com micromolinete no exutório da bacia experimental será determinada a curva-chave do exutório – em andamento;
- Verificação dos dados coletados: no âmbito da REHISA vem sendo desenvolvidos programas para análise dos dados coletados nas diversas bacias experimentais, em especial para os dados pluviométricos e fluviométricos. Ainda vêm sendo desenvolvidos modelos chuva-vazão para simulação do ciclo hidrológico nestas bacias;
- Análise da localização dos postos pluviométricos: através de métodos de análise da distribuição espacial da precipitação será realizada uma análise para verificação se os locais escolhidos para implantação dos postos pluviométricos foram adequados;

Após todos estes procedimentos, ou a partir dos dados validados, pode-se executar os estudos para se verificar o balanço hídrico e energético da bacia, e posteriormente verificar a possibilidade

de extrapolar os resultados para toda a bacia do rio Gramame, em especial para a aplicação do gerenciamento desta bacia e gestão dos recursos hídricos na cidade de João Pessoa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Unesco. “*Les bassins représentatifs et expérimentaux – Guide international des pratiques em matière de recherche*”. 1970. 381p.

Villela, Swami Marcondes; Mattos, Arthur. “*Hidrologia Aplicada*”. Editora McGraw-Hill. 1943.245p.

SEMARH. “*Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Gramame*”. Convênio SCIENTEC-SEMARH. 2000. vol 1.

Nouvelot, J.F & Ferreira, P.A.S, “*Bacia Representativa do Riacho do Navio*”, Série Hidrologia, nº 4, 1977, 249p.