



You are free: to copy, distribute and transmit the work; to adapt the work.
You must attribute the work in the manner specified by the author or licensor

EXPERIMENTAÇÃO E SIMULAÇÃO HIDROLÓGICA APLICADA AO USO DE ENERGIA HIDROKINÉTICA NA BACIA DO RIO MARACÁ – AMAPÁ

Leandro Rodrigues de Souza¹; Alan Cavalcanti da Cunha²;
Magaly de Fátima Correia³; Alexandra Lima Tavares⁴

RESUMO

Foi realizado um estudo de quantificação e análise do potencial de geração de energia hidrocínética no Médio Rio Maracá, Mazagão-AP, especificamente na Reserva Extrativista do Maracá. O princípio básico de geração é o aproveitamento da energia natural do escoamento turbulento do rio, sem a necessidade de construir barramento. O objetivo do estudo foi obter informações hidrológicas básicas para o aproveitamento de baixa potência (até 10kW) naquela região remota. Análises experimentais (hidrométricos) e numéricas (simulação) foram realizadas para avaliar as condições hidráulicas na seção de interesse do Rio Maracá. Os estudos hidrométricos para quantificar os parâmetros hidráulicos foram feitos entre julho de 2007 a agosto de 2008. Nas análises numéricas foi utilizado o sistema computacional IPHS1. A segunda análise consistiu de avaliação chuva-vazão a partir de dados de precipitação observados na estação meteorológica próxima da área de estudo. Os resultados experimentais mostram que há potencial hidrocínético na área de estudo. Contudo, numericamente, observou-se que as respostas da vazão são imediatas em relação à precipitação, principalmente devido às características fisiográficas da bacia, elevando os riscos operacionais.

Palavra chave: hidrologia; simulação; energias renováveis, Amapá.

EXPERIMENTATION AND SIMULATION HYDROLOGIC PLICADED TO ENERGY USE IN THE RIVER BASIN HYDROKINETIC MARACÁ – AP

ABSTRACT

In this work was realized a study of quantification and analysis of potential of hydrokinetic energy generation in the Middle Maraca River, Mazagão-AP, specifically in the Maraca Extractive Reserve. The basic principle of generation is the use the natural energy of river turbulent flow, it without the need to build dam. The objective was to obtain basic hydrologic information for use low power (up to 10 kW) in this remote region. Experimental analysis (hydrometric) and numerical (simulation) were performed to evaluate the hydraulic conditions in the section of interest in Maraca River. Hydrometric studies to quantify the hydraulic parameters were performed between July 2007 and August 2008. In the numerical analysis was used the IPHS1 computational system. The second analysis consisted of evaluating rainfall-runoff from rainfall data observed at the meteorological station near the study area. Experimental results show that hydrokinetic potential there is in the study area. However, numerically, it was noted that flow responses are immediate in relation with rainfall, mainly due to the physiographic features of the basin, increasing operational risks.

Keywords: hydrology; simulation; renewable energy; Amapá.

Trabalho recebido em 06/06/2010 e aceito para publicação em 25/02/2011.

¹Mestrando da UFCG, Av. Aprígio Veloso s/n, 58100 900, Campina Grande - PB. E-mail: leandrophisico@hotmail.com

²Professor Adjunto da UNIFAP. Rod. JK, s/n, Zerão, 68900-000, Macapá, AP. E-mail: alancunha@unifap.br

³Professora Adjunta da UFCG, Av. Aprígio Veloso s/n, 58100 900, Campina Grande - PB. E-mail: magaly@dca.ufcg.br

⁴Mestranda da UFCG, Av. Aprígio Veloso s/n, 58100 900, Campina Grande - PB. E-mail: kissandalima@yahoo.com.br

1. INTRODUÇÃO

Mais de dois bilhões de pessoas não têm acesso a fontes de energia elétrica, sendo que a maioria delas vive em áreas rurais, o que dificulta o desenvolvimento econômico e social das populações El Bassam et al. (2004). No Brasil, este número atinge cerca de cinco milhões de domicílios ou, aproximadamente 12 milhões de habitantes. Somente na Região Amazônica, estima-se que existam 18,45% domicílios que não são atendidos pelo fornecimento de energia elétrica convencional. No intuito de eliminar essa exclusão energética no país, o Governo Federal criou em 2004 o Programa “Luz para Todos” que pretendia universalizar o acesso à energia elétrica até o final de 2008, atendendo aproximadamente quatro mil municípios e cerca de sete milhões de habitantes que hoje não têm acesso à energia. Entretanto, problemas relacionados aos desequilíbrios sócio-espaciais, como o alto custo da geração, transmissão e distribuição de energia hidrelétrica inviabilizam iniciativas de atendimento às necessidades energéticas de pequena escala, deixando desprovidas de abastecimento populações rurais e/ou extrativistas geograficamente isoladas dos grandes centros urbanos (GREENTEC, 2003).

Do ponto de vista operacional a base da rede de distribuição de energia elétrica no Brasil é formada por três sistemas: o que interliga as regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste; as regiões Norte e Nordeste e os sistemas isolados, formados por cerca de 300 localidades eletricamente isoladas umas das outras, principalmente na Região Norte, correspondendo a 2% do mercado energético brasileiro.

Para as grandes e médias cidades não interligadas das regiões Norte e Nordeste na rede do sistema integrado, o governo oferece um subsídio para que as concessionárias atendam na modalidade de sistema isolado, principalmente por meio das termelétricas. O subsídio é um mecanismo de compensação financeira, denominado Conta de Consumo de Combustíveis Fósseis (CCC) que permite uma tarifa ao consumidor final semelhante à tarifa de outros locais do país (ELS, 2005).

Contudo, o subsídio só atende fornecedores de energia (termelétricas) com capacidade mínima de 2MW. Assim, somente cidades com mais de 4.000 habitantes usufruem desse mecanismo. Ficam de fora, portanto, cidades menores, milhares de vilas e comunidades que não dispõem de uma sistemática de atendimento. Na grande maioria o fornecimento é realizado pela própria

comunidade ou pelo poder municipal local. Normalmente os comunitários adquirem um grupo gerador com recursos dos moradores, da prefeitura local ou de políticos com objetivos eleitoreiros.

A alternativa encontrada pelas prefeituras para atendimento às comunidades isoladas é o sistema de quotas mensais de óleo diesel, distribuídos entre os moradores. Ultrapassando essa quota, os moradores assumem os custos adicionais, elevando o custo médio da tarifa praticada pelas concessionárias. Porém, quando há dificuldade no transporte do óleo diesel até essas comunidades remotas, a solução possível para o problema é o uso de fontes renováveis. A abundância de recursos como biomassa, energia solar, eólica e hidráulica, garantem energia em condições adequadas às realidades locais.

As energias renováveis são provenientes de ciclos naturais de conversão da radiação solar, que é a fonte primária de quase toda energia disponível na Terra. Por isso, são praticamente inesgotáveis e não alteram o balanço térmico do planeta.

Em algumas localidades da Amazônia é possível dar ênfase a produção da Hidroenergia, ou seja, da energia cinética das massas de água dos rios, que fluem de altitudes elevadas para os mares e

oceanos graças à força gravitacional. Este fluxo é alimentado em ciclo reverso graças à evaporação da água, elevação e transporte do vapor condensado em forma de nuvens, naturalmente realizado pela radiação solar e pelos ventos. A fase se completa com a precipitação pluvial nos locais de maior altitude. A hidroenergia também pode ser vista como forma de energia potencial; volume de água armazenada nas barragens rio acima. As grandes hidrelétricas se valem das barragens para compensar as variações sazonais do fluxo dos rios e, através do controle por comportas, permitir modulação da potência instantânea gerada nas turbinas (BRASIL JR, 2008).

Em se tratando de Turbinas Hidrocinéticas (THC) é necessário avaliar/estudar locais com potencial hidrocinético para utilização desta forma de energia e transformar em energia elétrica para comunidades remotas na Amazônia.

Nesta pesquisa são abordados os principais aspectos físicos e técnicos relacionados ao uso e instalação de picocentrals hidrocinéticas (potência até 10kW) em comunidades remotas na Amazônia, em especial no Amapá, onde há dois projetos de pesquisa em desenvolvimento que foram aprovados juntos à Eletronorte com intuito de

desenvolver produtos inovadores e sua inserção tecnológica em comunidades isoladas. Um deles é o da comunidade do Caranã, Reserva Extrativista do Maracá – Mazagão e o outro na Aldeia dos Índios Waiãpi – Serra do Navio. Estes projetos são coordenados pelo Laboratório de Energia e Ambiente - UnB com apoio do IEPA/MME/MCT.

Efetivamente os estudos foram iniciados em 2006 com o projeto intitulado “Alternativas Energéticas para Comunidades Isoladas da Amazônia: A energia hidrocinética no Maracá, sul do Amapá” que tinha como objetivo central apoiar a inserção social, técnica e econômica de uma turbina hidrocinética de 2ª geração. Atualmente, a proposta é difundir a tecnologia para todas as regiões do Brasil, em especial a Amazônia, buscando-se o apoio de financiadores como SUFRAMA, SUDAM, etc. a partir de métodos de incubação e produção em escala (BRASIL JR, 2006).

Apesar de todos os avanços institucionais no desenvolvimento e inserção da tecnologia há ainda imensas lacunas de conhecimento sobre as bacias hidrográficas nas quais serão instalados esses equipamentos Pinheiro et al. (2008). Na mesma linha de raciocínio, torna-se importante e vital para sustentabilidade técnica, econômica e social o

conhecimento mínimo sobre a hidrologia comportamental dos rios, avaliação de características hidráulicas e flutuações hidrometeorológicas, principalmente em ocorrências de eventos extremos de chuva que poderiam prejudicar ou comprometer a instalação e operação da turbina atualmente instalada no Rio Macacá.

1.1 Problema e hipóteses

Neste contexto surge uma questão importante: visando maior disponibilidade e exatidão de informações hidrológicas e meteorológicas quais procedimentos seriam mais convenientes para melhorar a segurança e operação de turbinas hidrocinéticas instaladas em rios típicos do Estado do Amapá e atender demandas de geração de energias em comunidades remotas? A primeira hipótese é que o conhecimento das características hidrometeorológicas das bacias deveria ser um dos critérios técnicos decisivos para a instalação e operação de turbinas hidrocinéticas em qualquer bacia hidrográfica, cujo potencial técnico, econômico e social seja preliminarmente viável. A abordagem experimental apresenta algumas vantagens técnicas para indicar se é ou não viável tecnicamente a instalação de equipamentos como as picocentrals hidrocinéticas. Por outro lado, a abordagem numérica com simulação

computacional hidrológica apresenta vantagens técnicas complementares na análise do potencial hidrocínético, já que aborda aspectos históricos e riscos inerentes à instalação e operação de equipamentos na bacia hidrográfica. Entre os parâmetros importantes tem-se a precipitação, o escoamento superficial, índice de vegetação, a geomorfologia, etc. Essas são condições básicas que tornam possível a estimativa de respostas de interação chuva-vazão e suas correlações com o funcionamento de turbinas hidrocínéticas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização da Área de Estudo

A Bacia Hidrográfica do Maracá (Figura 1) esta localizada no Município de Mazagão – AP e encontra-se cerca de 2 horas de Macapá, na Rodovia BR-156 (em sentido ao município de Laranjal do Jari). Há várias comunidades que vivem nesta região. As principais fontes de renda são o extrativismo (principalmente castanha) e a fabricação de móveis (baixo Maracá).

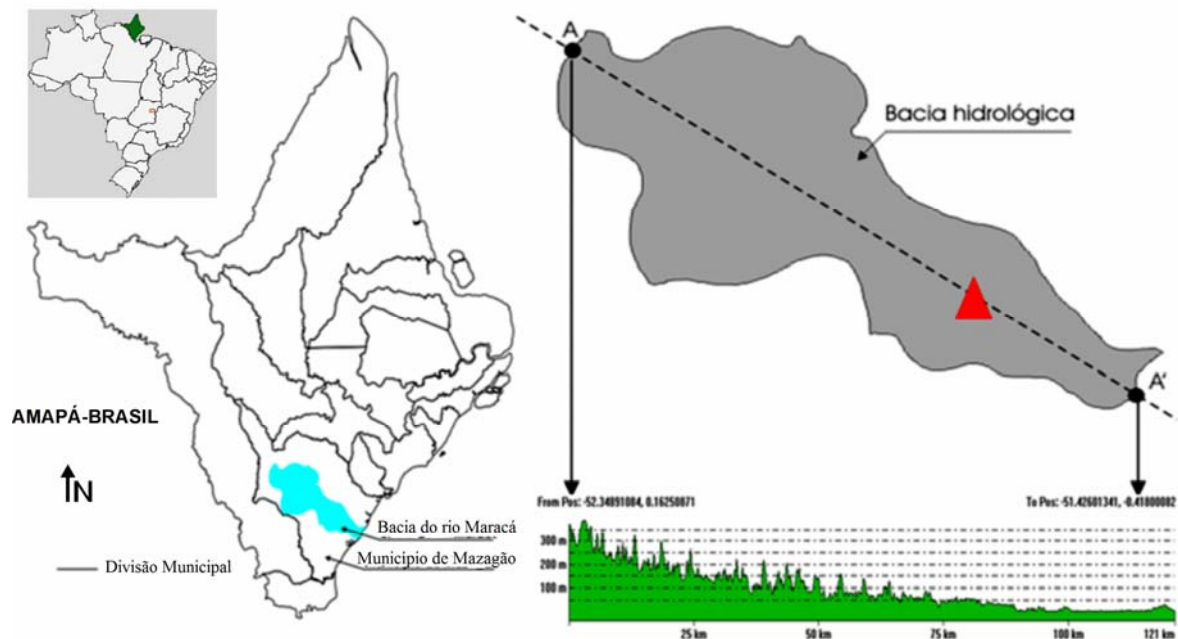


Figura 1 - Localização da Bacia do rio Maracá, à esquerda e localização da seção de estudo, à direita com destaque em vermelho.

A Bacia do Maracá tem características físicas e clima bastante semelhantes às de bacias Amazônicas. A

existência do relevo elevado torna a região propícia ao uso de energia hidrocínética (ELS, 2008). O rio Maracá é perene e

deságua no braço esquerdo do rio Amazonas. O trecho de estudo é indicado na Figura 1 pela seta curva, mais precisamente na parte sul ou médio Maracá.

2.2 Coleta e Refinamento dos Dados Observados

Com o objetivo de simular o comportamento hidrológico da bacia,

foram realizadas quatro batimetrias hidrométricas no rio Maracá para obter a velocidade e elaborar uma curva-chave representativa de ponto específico da bacia (SOUZA, 2009). Os dados pluviométricos foram coletados na estação meteorológica pertencente a Agência Nacional de Águas - ANA (Figura 2).



Figura 2 - Pluviômetro da ANA localizado na Vila do Maracá.

A Figura 2 mostra o pluviômetro da ANA localizado na vila do Maracá próximo do estudo experimental no rio Maracá, cujos dados foram utilizados na entrada no modelo hidrológico IPHS1.

2.3 Descrição do Método utilizado para Estimar o Potencial Hidrocinético

A avaliação da potência da turbina hidrocinética exigiu estimar alguns parâmetros:

A velocidade média da corrente d'água foi determinada conforme a Equação de Betz (1):

$$P_H = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}\rho Av^3 \quad (1)$$

Na estimativa da potência elétrica utilizou-se a equação 2:

$$P_{ELET} = 0,56.P_H \eta_m \eta_e \quad (2)$$

em que, P_H é a potência hidráulica disponível (W), m é a massa de água (Kg), v é a velocidade da corrente do rio ($m.s^{-1}$), ρ é a densidade da água ($Kg.m^{-3}$), A é a área da secção da turbina (m^2), P_{ELET} é a potência elétrica (W), η_m é o rendimento mecânico e η_e é o rendimento elétrico.

2.3.1 Método de Medição de Vazão com Molinete

A etapa inicial do trabalho consiste da implantação de seções de réguas verticais imaginárias que permitem a verificação das variações da profundidade do rio; em seguida foram realizadas medições de descarga a 0,2p; 0,4p; 0,6p e 0,8p da profundidade do rio. Após ter sido medida a largura do rio e marcadas as verticais, posiciona-se o molinete em cada vertical (Figura 3).

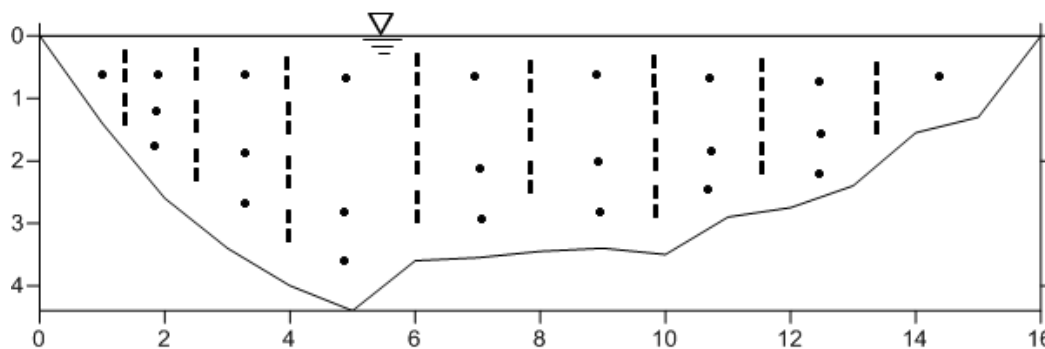


Figura 3 - Perfil esquemático do rio.

Em função da profundidade da vertical determina-se, com base na Tabela 1, o número de medidas a realizar e a profundidade de cada uma delas, anotando-se os valores obtidos. No caso a vazão de

cursos d'água naturais a determinação não é simples, pois o valor varia com a velocidade a qual varia bastante conforme o regime de chuva na região (SOUZA, 2009).

Tabela 1 - Posições para medição de velocidade.

| Pontos | Posição em relação a S* | Cálculo da vel. média na vertical (m/s) | Prof. (m) |
|--------|-------------------------|---|-------------|
| 1 | 0,6p | $V = V_{0,6}$ | 0,15 - 0,60 |
| 2 | 0,2 e 0,8p** | $V = (V_{0,2} + V_{0,8})/2$ | 0,60 - 1,20 |
| 3 | 0,2; 0,6; e 0,8p | $V = (V_{0,2} + 2.V_{0,6} + V_{0,8})/4$ | 1,20 - 2,00 |
| 4 | 0,2; 0,4; 0,6; 0,8p | $V = (V_{0,2} + 2.V_{0,4} + 2.V_{0,6} + V_{0,8})/6$ | 2,00 - 4,00 |

*S: Superfície; p**: Profundidade
 Fonte: SANTOS *et al.* (2001)

O estudo visou quantificar a velocidade e vazão de um trecho do rio Maracá localizado a jusante do local onde está instalada a turbina hidrocínética na comunidade do Caranã, para a determinação das curvas de descarga líquida (curva-chave). Esta curva de descarga é obtida através de medições diretas da velocidade em diversas seções

dos rios e das áreas de secção do rio. Cabe ainda observar que a velocidade superficial é medida a 10 cm de profundidade para que a hélice do molinete fique submersa, enquanto que a velocidade do fundo é medida entre 15 e 25 cm acima do fundo, em função da distância do lastro ao eixo do molinete (Figura 4).



Figura 4 - Molinete Universal Newton utilizado na hidrometria de campo.

Através do molinete calcula-se a velocidade de escoamento do rio utilizando equações específicas contida no manual de fabricação do equipamento.

2.3.2 Etapas do Cálculo

i) Velocidade (v): calculada pela Equação

$$3: v = \frac{a \cdot n_r}{10} + b \quad [m \cdot s^{-1}] \quad (3)$$

em que, “ a ” e “ b ” são constantes da equação do molinete, com valores iguais a 1,0211 e 0,0062, respectivamente e, n_r é número de rotações do hélice do molinete.

ii) Área da secção (A): obtida pela

$$\text{Equação 4: } A = \frac{\sum P_n}{n_v} \quad [m^2] \quad (4)$$

em que, P_n são as profundidades das verticais e n_v é o número de verticais.

iii) Vazão (Q): obtida da relação entre as Equações 3 e 4, expressa por (5):

$$Q = v \cdot A \quad [m^3 \cdot s^{-1}]$$

2.4 Parametrização do Modelo IPH 2

No IPHS1 estão acoplados vários modelos hidrológicos, entre eles o IPH2 mais freqüentemente utilizado por gerar

resultados satisfatórios dentro dos objetivos de estudo (SOUZA, 2008). Para alcançar as metas previstas o modelo foi parametrizado/ajustado as características da bacia. O Modelo IPH2 é do tipo concentrado (uniforme), aplicado para projetos de engenharia em bacias rurais e urbanas, portanto, requer o uso de poucos parâmetros e se baseia em metodologias conhecidas.

Obtidos os valores de precipitação e as características peculiaridades das sub-bacias, os parâmetros do modelo IPH2 (Tabela 2) foram estimados de tal forma que a vazão no ponto de controle se equiparasse com os valores observados.

Tabela 2 - Parametrização do modelo IPH2.

| Modelo IPH 2 | Parametrização |
|--------------------------|----------------|
| Io (mm.h ⁻¹) | 13 |
| Ib (mm.h ⁻¹) | 0,23 |
| H | 0,86 |
| Rmax (mm) | 12 |

Sendo: Io, a capacidade de infiltração máxima do solo; Ib, a capacidade de infiltração mínima do solo; h, o parâmetro de decaimento da infiltração no solo; Rmáx, a capacidade máxima do reservatório de interceptação.

O IPHS1 possibilitou a realização das simulações para um período de um mês, considerando suas respectivas médias diárias de chuva. Foram consideradas as informações hidrológicas de chuva-vazão e outras características físicas da bacia, além da inserção de posto de controle. Na pré-calibração os valores usados para Io variaram entre 12 e 15 mm.h⁻¹, sendo que o ideal estimado foi o de 13 mm.h⁻¹ para todas as sub-bacias. Para Ib foram utilizados valores entre 0,20 mm.h⁻¹ e 0,27 mm.h⁻¹ e ajustados constantemente até a resposta se aproximar hidrometricamente da medida.

Como o parâmetro de decaimento da infiltração no solo (H) é muito sensível, foi determinado um valor constante baseado nos valores encontrados na literatura. Este parâmetro é adimensional e o valor adotado foi 0,86. Assim, foram trabalhados apenas os valores de infiltração (Io) e de percolação (Ib). Os Rmax foram estimados entre $10 < R_{máx} < 13$.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção são analisados e discutidos os resultados experimentais que serviram como dados de entrada do modelo IPHS1 da simulação hidrológica na bacia hidrográfica do Maracá.

3.1 Avaliação Hidrométrica do Rio Maracá

Os resultados das análises obtidas no período de um foram utilizados como fundamento técnico para instalação de

turbinas hidrocinética (Quadro 1). Embora seja fundamental quando se trabalha em locais isolados não foi possível fazer análises bimestrais por falta de recursos tanto financeiros quanto humanos.

Quadro 1 - Parâmetros hidrométricos calculados do Rio Maracá - AP

| Rio Maracá | | | | |
|--|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Parâmetros Calculados | 1ª Medição (Jul/07) | 2ª Medição (Out/07) | 3ª Medição (Fev/08) | 4ª Medição (Ago/08) |
| Área (m ²) | 111,66 | 92,42 | 131,5 | 101,22 |
| Largura do rio (m) | 45,00 | 39,00 | 50,00 | 42,00 |
| Profundidade (m) | 2,48 | 2,36 | 2,63 | 2,41 |
| Vazão (m ³ .s ⁻¹) | 170,7 | 104,92 | 218,25 | 142,72 |
| Velocidade (m.s ⁻¹) | 1,53 | 1,14 | 1,66 | 1,42 |

O conhecimento das características hidráulicas das bacias é um dos critérios técnicos decisivos para a instalação e operação de turbinas hidrocinéticas em qualquer bacia hidrográfica, cujo potencial hidrocinético (técnico, econômico e social) seja viável. O principal parâmetro avaliado para instalação de uma turbina é a velocidade de corrente do rio, pois permite medir a potência de operação da turbina. Além disso, há necessidade de fazer o perfil esquemático do rio para verificar a profundidade mínima para posicionar a

estrutura (Figura 3). Os resultados mostraram que o local tem potencial hidrocinético suficiente para instalar uma turbina hidrocinética, visto que, somente no mês de outubro a velocidade foi abaixo de 1,4 m.s⁻¹ que é ideal para seu funcionamento. Além disso, outubro é o mês é o menos chuvoso da região e especificamente neste caso a quantidade de chuva foi abaixo do esperado para o ano. Um bom resultado foi obtido para o mês de fevereiro pertencente ao período chuvoso.

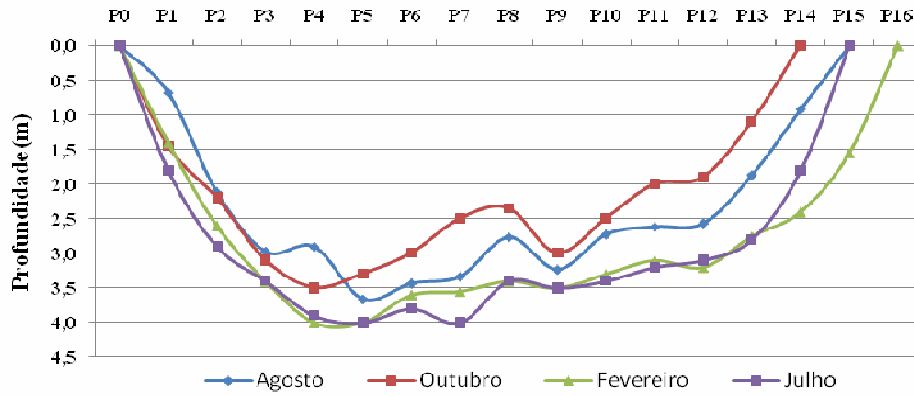


Figura 3 - Mostra perfil esquemático no rio Maracá.

Outro resultado importante foi a curva-chave obtida para o trecho específico do rio Maracá, através da qual se pode

calcular a vazão em função de velocidade que interessa para geração e operação de energia hidrocinética (Figura 4).

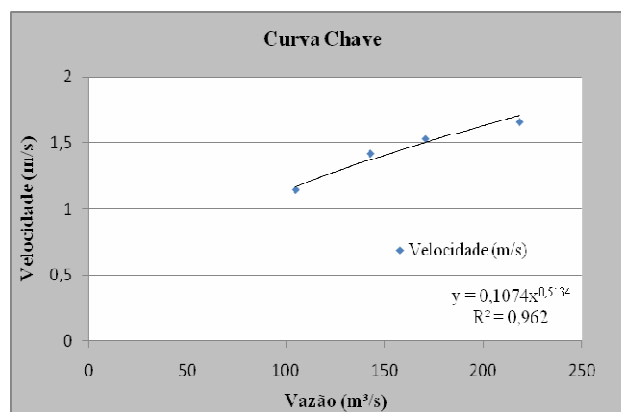


Figura 4 - Curva chave velocidade x vazão.

Com a obtenção da curva chave da velocidade em função da vazão foi possível avaliar a variabilidade elétrica da turbina hidrocinética. Em virtude da condição de máquina de fluxo livre, pelo princípio de Betz, o máximo teórico de

potência que se deve extrair desse tipo de máquina é 0,56. Além disso, foram considerados os rendimentos mecânico de turbina e elétrico do gerador igual a 0,7 e 0,9 respectivamente. A potência da turbina no decorrer do ano é vista na Tabela 3.

Tabela 3 - Potência elétrica da Turbina.

| Mês (2007/2008) | Velocidade (m.s ⁻¹) | Potência Elétrica (W) |
|-----------------|---------------------------------|-----------------------|
| Julho | 1,53 | 885,63 |
| Outubro | 1,14 | 366,35 |
| Fevereiro | 1,66 | 1131,11 |
| Agosto | 1,42 | 708,02 |

Em se tratando de alternativas energéticas para comunidades remotas, o estudo hidrológico realizado para a turbina hidrocinética do Caranã pode auxiliar futuros empreendimentos, principalmente na produção de castanha local. A geração de energia elétrica proporcionaria, com segurança suficiente, o funcionamento de equipamentos para desenvolver a produção de castanha do Brasil (*Hevea brasiliensis*). Esta segurança também agregaria valor operacional ao produto no período de inverno de entressafra, pois não permitiria a deterioração dos produtos na entre-safra, uma vez que a castanha se apresentaria com baixa umidade e passível de armazenamento com o uso de energia.

3.2 Desempenho das Previsões do Modelo IPH II

Ao realizar a simulação da bacia do Maracá foi possível observar as respostas

hidrológicas características resultantes da morfologia da bacia. O hidrograma para o mês de fevereiro de 2008 (momento da ocorrência de um evento de cheia) simulado com o IPHS1, e a precipitação média ocorrida na bacia é apresentado na Figura 5. Este evento foi simulado para o período de 29 dias em intervalos diários. Na Figura 5, observa-se também o gráfico da vazão de entrada (na cor azul) e da vazão de saída (na cor vermelha) em um ponto de controle. Percebe-se que o modelo simulou bem o início do aumento de vazão do hidrograma. Ademais, previu uma vazão máxima, uma vez que esta foi obtida com o modelo neste evento, na ordem de 203,55 m³.s⁻¹, subestimando o valor do experimento igual a 218,25 m³.s⁻¹.

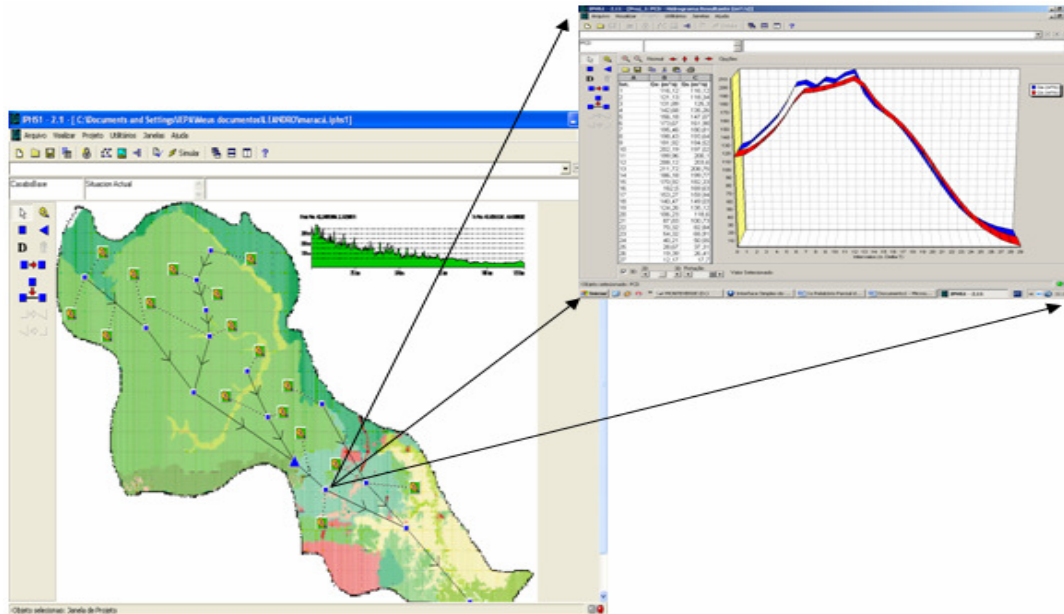


Figura 5 - Representação do hidrograma resultante (superior a direita) e ambiente gráfico da bacia simulado no IPHS1 (abaixo a esquerda).

Chuva Efetiva x Hidrograma Resultante

Na Figura 6 representa-se outra saída gráfica do modelo IPHS1. É mostrada a chuva efetiva versus hidrograma resultante,

na qual se mostra o comportamento da vazão no decorrer da precipitação observada pela estação e ANA (2007 e 2008) para um intervalo de 29 dias.

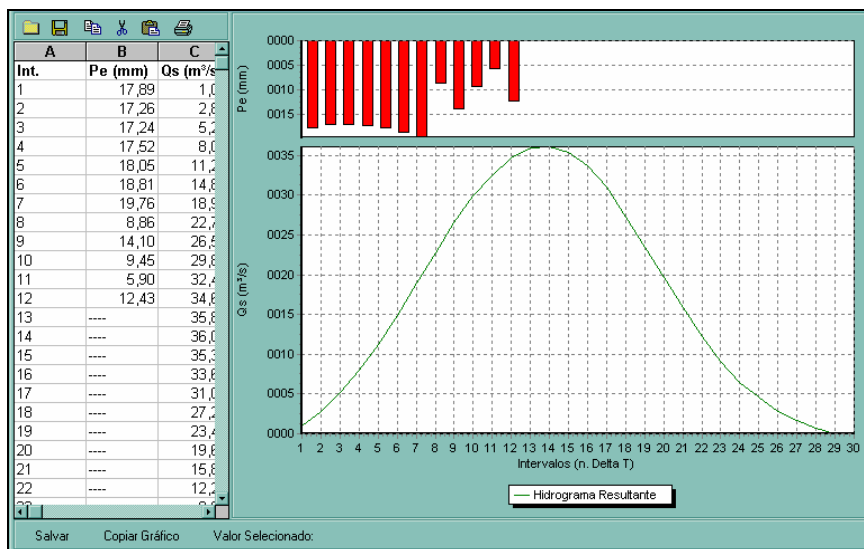


Figura 6 - Chuva Efetiva versus Hidrograma Resultante na bacia do Maracá simulado para o mês de fevereiro de 2008. Na parte superior (vermelho) é indicada a precipitação e a curva (em verde) a resposta do aumento de vazão sob influência da chuva.

Observa-se que o modelo foi bastante eficiente para simular o evento de cheia e o final amortecimento da onda de cheia no final do período. Como mencionado acima, a resposta do modelo foi imediata desde o início da precipitação. Vários fatores contribuíram para essa resposta. O efeito da saturação do solo no período chuvoso é determinante, visto que, a maior parte da precipitação é conduzida até o rio pelo escoamento superficial, percolação através do lençol freático.

Estes resultados demonstram que uma onda de cheias como as de proporções observadas em fevereiro de 2008 podem produzir danos físicos a estrutura da turbina hidrocinética devido aumento do volume d'água nesta época do ano.

A análise complementar dos estudos experimentais hidrométricos não basta para atender aos anseios da política nacional de universalização da energia, como o uso da tecnologia apropriada (hidrocinética); é preciso o conhecimento do ambiente físico na qual o equipamento está instalado, como da climatologia e hidrologia local, em que esses conhecimentos são raros na Amazônia.

4. CONCLUSÕES

Neste estudo foi possível concluir que o local tem potencial hidrocinético suficiente para instalar uma turbina

hidrocinética. Somente no mês de outubro a velocidade foi abaixo de $1,4 \text{ m.s}^{-1}$ o que é ideal para seu funcionamento. É importante considerar que este mês é o menos chuvoso da região e que o total anual de chuva foi abaixo do esperado. Os resultados obtidos no mês fevereiro, no período chuvoso, está dentro do esperado.

Além disso, foi possível verificar que:

- O conhecimento das características hidrometeorológicas das bacias é um dos critérios técnicos decisivos para a instalação e operação de turbinas hidrocinéticas em qualquer bacia hidrográfica da região, cujo potencial hidrocinético (técnico, econômico e social) seja viável.

- A abordagem experimental apresentou vantagens técnicas na indicação da viabilidade da instalação de equipamentos como as picocentrals hidrocinéticas propostas por BRASIL JR (2006).

- Ao considerar os aspectos históricos funcionais da bacia hidrográfica, a abordagem numérica de simulação computacional hidrológica mostrou-se como uma vantagem técnica adicional na análise do potencial hidrocinético. Desta forma, foi possível estimar algumas respostas de interação chuva-vazão e suas

correlações com o funcionamento de turbinas hidrocinéticas.

Os resultados obtidos com o IPHS1 mostraram que é possível detectar ou prever fenômenos hidrológicos adversos a partir de poucos dados ou informações locais disponíveis. Efetivamente o uso desta técnica representa maior segurança nos sistemas de instalação e operação de turbinas nestes locais.

- As batimetrias, permitiram fazer comparação entre a sazonalidade da vazão e seus reflexos na geração potencial de energia hidrocinética.

Finalmente, consideramos que a relevância do tema dessa pesquisa pode ser confirmada pela política nacional ao promulgar a lei da universalização ao acesso e serviço de energia elétrica em 2002 com metas claras para atender as populações rurais.

O Programa Luz para Todos do Governo Federal implementado para atender as exigências dessa lei, tem como meta atender dois milhões de domicílios rurais até 2008, sabendo que deste montante pelo menos 300.000 domicílios na Amazônia deverão ser atendidos com alguma forma de geração descentralizada de energia elétrica, conforme elucidou ELS (2008).

Os resultados do esforço de universalização estão obrigando os Estados

a rever suas ações e mostrar a necessidade de mudança de paradigma para que as metas estabelecidas sejam alcançadas. A eletrificação rural, mesmo nos moldes convencionais de extensão da rede elétrica, precisa ser integrada num esforço de desenvolvimento local, e por isso não pode mais ser considerada atribuição unicamente das instituições convencionais de geração e distribuição de energia elétrica. Portanto, este trabalho demonstra que há muitos obstáculos técnicos e científicos a serem superados, principalmente para gerar um melhor nível de segurança operacional dos equipamentos como as turbinas hidrocinéticas.

A modalidade de geração de energia hidrocinética em regiões remotas, cujas bacias hidrográficas são desconhecidas ou pouco estudadas, precisa levar em consideração as características hidráulicas e hidrológicas locais, sob pena de pôr em risco os investimentos de esforço econômico, material e humano quando submetido a algum tipo de evento hidroclimatológico adverso, como enchentes bruscas ou estiagens prolongadas. Assim, o presente trabalho buscou justamente tratar desses detalhes técnicos e que devem ser considerados nos projetos futuros de geração de energia hidrocinética na região.

5. REFERÊNCIAS

- BRASIL JUNIOR, A. C. P. **Energia renovável para a reserva do Maracá**. Edital CT-Energ MME CNPq 03/2003, Proposta UnB/IEPA. 12 p., 2006.
- BRASIL JUNIOR, A. C. P. **Programa nacional de universalização do acesso e uso da energia elétrica – Manual de operacionalização**. Ministério das Minas e Energia – MME. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br>>. Acesso em: 01 de julho de 2008.
- EL BASSAM, N.; MAEGAARD, P. **Integrated renewable energy for rural communities**. Amsterdam: Elsevier, 2005.
- ELS, R. V. **Sustentabilidade de projetos de implantação de aproveitamentos hidroenergéticos em comunidades tradicionais na Amazônia: casos do Suriname e Amapá**. 242 f. Tese (Doutorado em Ciências Mecânicas) – Universidade de Brasília, Brasília, 2008.
- GREENTEC ECOLOGIA AMBIENTAL. **Energia Hidrocinética - Estudo de Mercado**. Brasília – DF: 2003.
- PINHEIRO, L. A. R.; CUNHA, A. C.; CUNHA, H. F. A.; SOUZA, L. R. **Simulação Computacional Aplicada à Dispersão de Poluentes e Análise de Riscos à Captação de Água na Orla de Macapá-AP**. **Revista Pesquisa & iniciação científica**. Macapá–Ap, 2008.
- SANTOS, I.; FILL, H. D.; SUGAI, M. R. V. B.; BUBA, H.; KISHI, R. T.; MARONE, E.; LAUTERT, L. F. **Hidrometria aplicada**. Curitiba: Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, LACTEC, p.372. 2001.
- SOUZA, L. R.; CUNHA, A. C.; PINHEIRO, L. A. R. **Aplicação do IPHS1 para o Estudo do Comportamento da Vazão no Rio Amapari-AP: Energia e Saneamento**. In: XV CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 2008, São Paulo. **Anais...** A Meteorologia e as Cidades. Rio de Janeiro: SBMET, 2008.
- SOUZA, L. R. **Experimentação, Modelagem e Simulação Hidrológica Aplicadas ao uso de Energias Hidrocinética na Bacia do Rio Maracá**. 62f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Física) – Universidade Federal do Amapá, Amapá. 2009.