



Este trabalho está licenciado sob uma [Licença Creative Commons Attribution 3.0](https://creativecommons.org/licenses/by/3.0/) .



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 3.0.

REFERÊNCIA

CARVALHO JÚNIOR, Osmar Abílio de et al. Metodologia para identificação de áreas potenciais para implantação de pequenas centrais hidrelétricas na Bacia do Rio Preto utilizando sistema de informações geográficas. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 60, n. 2, p. 195-203, ago. 2008. Disponível em: <<http://www.lsie.unb.br/rbc/index.php/rbc/article/view/333>>. Acesso em: 20 ago. 2014.

METODOLOGIA PARA IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS POTENCIAIS PARA IMPLANTAÇÃO DE PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS NA BACIA DO RIO PRETO UTILIZANDO SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

A methodology to identify potential areas in planning Small Hydro Power in Preto River Basin through the use of Geographical Information System

**Osmar Abílio de Carvalho Júnior
Leonardo Figueiredo de Freitas
Renato Fontes Guimarães
Roberto Arnaldo Trancoso Gomes
Daniel Gomes-Loebmann**

Universidade de Brasília

Instituto de Ciências Humanas - Departamento de Geografia

Laboratório de Sistemas de Informações Espaciais (LSIE)

ICC – Ala Norte, sala ASS-660/10, Campus Universitário Darcy Ribeiro. Brasília, DF.

CEP 70910-9001

{renatofg, osmarjr, robertogomes}@unb.br

{leoffreitas,gomesloebmann}@yahoo.com.br

RESUMO

O incremento tecnológico nas áreas rurais vem proporcionando uma demanda energética que pode ser suprida com fontes de energia alternativas. Portanto, um novo modelo tecnológico descentralizado de produção de energia têm sido estudada, no propósito de suprir de energia os municípios isolados, minimizando o custo de transmissão e distribuição. Neste contexto, a Pequena Central Hidrelétrica (PCH) é uma opção competitiva e baseada na produção de energia limpa. O presente trabalho objetiva desenvolver uma metodologia em Sistema de Informações Geográficas (SIG) para determinar áreas favoráveis para a instalação de PCH. A área de estudo está situada na bacia do rio Preto, pertencente a dois Estados (GO e MG) e o Distrito Federal. Essa área possui grande importância na produção agrícola da região. O SIG pode favorecer a identificação de áreas potenciais para implantação de PCH, por causa da rapidez de acesso e processamento em larga escala de banco de dados espaciais em alta velocidade. A identificação de áreas potenciais para a implantação desses projetos pode ser favorecida com a utilização do Sistema de Informações Geográficas (SIG), pois apresenta em um espaço reduzido de tempo um resultado preliminar das potenciais áreas. A determinação do potencial físico para a construção de PCH pode considerar a conjunção de dois principais parâmetros: (a) vazão estimada baseada na área de contribuição e (b) a diferença topográfica no rio. O cruzamento dessas informações permite identificar os melhores locais para a construção de PCH.

Palavras chaves: Pequenas Centrais Hidrelétricas; SIG, MDT, Rio Preto.

ABSTRACT

The advance of technology in rural areas is providing a new electric energy demand that can be solved with the alternative powers sources. Therefore, a new model with decentralized energy technologies has been sought, in order to supply energy to isolated municipalities, minimizing transmission and distribution costs. In this context, the Small Hydro Power (SHP) is a competitive option based on clean energy production. The present work aims at developing a methodology in Geographical Information System (GIS) to determine the most favorable areas for installation of SHP. The study area is located in the Preto river basin that covers two States (Goiás and Minas Gerais) and the Federal District. This area has a great importance to regional agriculture. The GIS can favor the potential areas identification to SHP implantation, because of quickly accessing and processing large spatially databases over high speeds. The

determination of the physical potential for the SHP construction should consider the conjunction of two main parameters: (a) an outflow estimate based on computed contribution area, and (b) the local slope along the river, which defines the topographical difference across potential dam sites. The crossing of this information allows the identification of the best places for the SHP construction.

Keywords: Small Hydro Power; GIS, DEM, Rio Preto.

1. INTRODUÇÃO

A energia é uma fonte vital para o desenvolvimento econômico de uma nação (JEBARAJ & INIYAN, 2005). No meio rural, intensas transformações são observadas devido à integração da tecnologia, que não se limita à fase da produção agrícola, mas na vida cotidiana das pessoas que introduzem aparatos antes restritos às áreas urbanas (FLORES & MACEDO, 1999). Esse desenvolvimento econômico da sociedade rural e, conseqüentemente, do incremento tecnológico requerem cada vez mais um aumento da oferta de energia (HICKS, 2004).

No entanto, o modelo de desenvolvimento energético brasileiro é caracterizado pela priorização do estabelecimento de grandes centrais hidrelétricas para abastecer os grandes centros. Os suprimentos de energia em municípios isolados e ambientes rurais muitas vezes são negligenciados devido ao custo para interligação dessas localidades. Portanto, uma alternativa para as áreas rurais é um modelo energético de natureza descentralizado com o propósito de minimizando o custo de transmissão e distribuição (KAREKEZI & KITHYOMA, 2002). Além disso, deve-se considerar os avanços tecnológicos que permitam a produção de energia limpa visando minimizar os impactos ambientais e sociais (TSOUTSOS *et al.*, 2004; KALDELLIS, 1997). O setor energético vem causando significativo impacto ambiental no mundo em todas as suas etapas do seu ciclo produtivo: geração, transmissão e distribuição. O desenvolvimento econômico mundial durante todo o século 20 representou um alto custo ambiental com deterioração da qualidade de vida das populações e com prejuízos aos ecossistemas (BROWN, 2001, 2003).

Neste contexto, a implantação de Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH) é uma opção para suprir energia em municípios distantes e sem conexão ao sistema, como também, permite um menor impacto por alagarem pequena extensão de terras. As PCHs necessitam apenas de um rio com o mínimo de declividade e de vazão, sendo essa condição encontrada em boa parte do território brasileiro. Uma PCH pode ser definida como um sistema que captura a energia gerada pelo fluxo de água em um curso regular, convertendo esta energia em energia elétrica (ELETROBRÁS, 2000). Para ser considerada uma PCH esta deverá ter uma potência instalada entre 1 MW e 30 MW e caso haja reservatório este não poderá passar de 3 km². Caso o reservatório seja maior que 3 km³, mas respeite o limite de potência, deve-se atender a Eq. 1 ou que o tamanho do reservatório é comprovadamente projetado

para outros fins, que não a geração de energia elétrica (Resolução ANEEL 652/2003).

$$A \leq \frac{14,13 * P}{H_b} \quad (1)$$

Onde “P” é a potência elétrica instalada em (MW); “A” é a área do reservatório em (km²) e “H_b” é a queda bruta em (m), definida pela diferença entre os níveis d’água máximo normal de montante e normal de jusante.

Existem basicamente dois tipos de PCHs: (a) usina de represamento, onde se tem um reservatório para regularizar a vazão a ser turbinada.; e (b) usina a Fio d’água, onde parte do canal do rio é desviada para a casa de máquinas, utilizando praticamente a vazão natural.

As principais vantagens para a instalação do PCH são: permite uma exploração do potencial hidroelétrico sem a construção de grandes represas ou em muitos casos em água corrente, com pouca ou nenhuma represa ou estocagem de água, (b) substituição das fontes fóssil com utilização de energia renovável, contribuindo para a diminuição da emissão global de carbono, (c) é uma tecnologia de produção de energia com custo apropriado para eletrificação rural em países em desenvolvimento, e (d) produção de energia limpa (FREY & LINKE, 2002; HICKS, 2004; PAISH, 2002; THORNBLOOM, 1997).

Desta forma, torna-se necessário o estabelecimento de mecanismos eficientes para conduzir uma prospecção espacial nas bacias hidrográficas para estimar áreas com potencial para a implantação de PCHs. Os estudos de inventário hidrelétrico são realizados para se determinar o potencial hídrico, aproveitável, de uma bacia, para a geração de energia elétrica. A partir desse levantamento pode-se estabelecer uma caracterização geral da área com a determinação dos locais de maior potencial e menor custo econômico, social e ambiental (ELETROBRÁS-DNAEE, 1997). A definição de estratégias e políticas no propósito de inventários hidroelétricos é mais relevante considerando um país com a extensão continental como o Brasil.

Neste propósito a formulação de modelos usando Sistemas de Informações Geográficas (SIG) em ambiente computacional pode aumentar a rapidez e a eficiência na identificação de lugares apropriados para a implantação de PCHs. O SIG possui ferramentas que permitem manipular dados espaciais e geográficos, que são apropriados para o planejamento energético por meio de formulações e critérios para a decisão (YUE &

WANG, 2005; GRAHAM, 1998). O emprego do SIG permite estabelecer vários cenários futuros com os seus respectivos impactos, custos e benefícios. A possibilidade do rápido acesso e processamento da uma grande base de dados espaciais de forma rápida oferece uma alta performance em relação à análise manual (RAMACHANDRA *et al.*, 2004). Devido a essas características e facilidades, o SIG tem sido amplamente utilizado no planejamento e avaliação do potencial energético tais como: produção de biogás (BATZIAS, 2004); energia solar (GADSDEN *et al.*, 2003a, b; MILLS, 2004; RYLATT *et al.*, 2001; SORENSEN, 2001; VOIVONTAS, 1998), energia eólica (HILLRING & KRIEG, 1998; KHAN *et al.*, 2004; RAMACHANDRA & SHRUTHI, 2005), e energia proveniente de biomassa (SCHNEIDER *et al.*, 2001; TOP *et al.*, 2004; VOIVONTAS *et al.*, 2001). Para os estudos de potencial hidrelétrico destacam-se os trabalhos de GRAHAM (1998) que realiza uma investigação do potencial hidroelétrico nas fazendas da Escócia e o de RAMACHANDRA (2004) que considera um sistema de suporte para a decisão espacial para a análise de micro, mini e pequenas centrais hidrelétricas.

O objetivo deste trabalho é identificar as áreas mais propícias a implantação de projetos de PCHs na bacia do rio Preto que tem grande importância na produção agrícola da região.

2. ÁREA DE ESTUDO

O rio Preto faz parte da bacia do rio Paracatu, que é uma sub-bacia do rio São Francisco (Fig. 1). A bacia está presente no Distrito Federal, no Estado de Goiás e de Minas Gerais, ocupando uma área aproximada de 10.310 km².

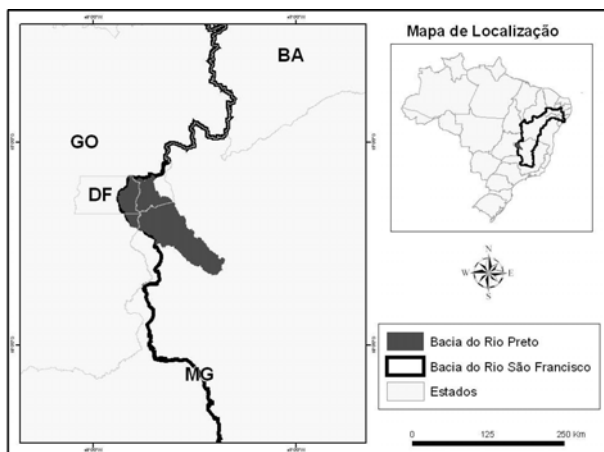


Fig. 1 – Mapa de Localização da Bacia do Rio Preto.

A geologia é constituída pela Formação Vazante, composta por filitos, ardósias, quartzitos, metassiltitos, raros calcários e abundantes dolomitos (SCHOBENHAUS, 1984). Grupo Canastra, composto basicamente por sericita xisto, quartzo-sericita xisto, calcita-clorita-sericita xisto e quartzo-sericita-clorita xisto. Grupo Paranoá, apresenta na área em estudo, a

unidade Rítmica Quartzítica Intermediária formada por quartzitos finos a muito finos, feldspáticos friáveis, que evoluem, para o topo, para uma alternância de laminações siltico- argilosas, metassiltito e metargilitos com intercalações de quartzitos finos a médios classificados como ritmitos. Sub-Grupo Paraopeba, pertencente ao Grupo Bambuí, é constituído por siltitos e argilitos de coloração cinza-esverdeada a avermelhada, às vezes calcíferos, lentes de calcário e intercalações de arenito arroxeados, e pela cobertura detrito-laterítica do Terciário-Quaternário (SCISLEWSKI *et al.*, 2003).

A Geomorfologia da área de estudo é constituída basicamente por três grandes unidades (Fig. 2): (a) Planalto do São Francisco, que é representado por superfícies tabulares ou chapadas, e está localizada no alto Preto; (b) Cristas de Unaí, são alinhamentos orientados na direção NNW-SSE, entre as quais se intercalam zonas rebaixadas e aplainadas situadas no médio Preto; e (c) Depressão Sanfranciscana é uma área rebaixada e aplainada (MINAS GERAIS, 1998).

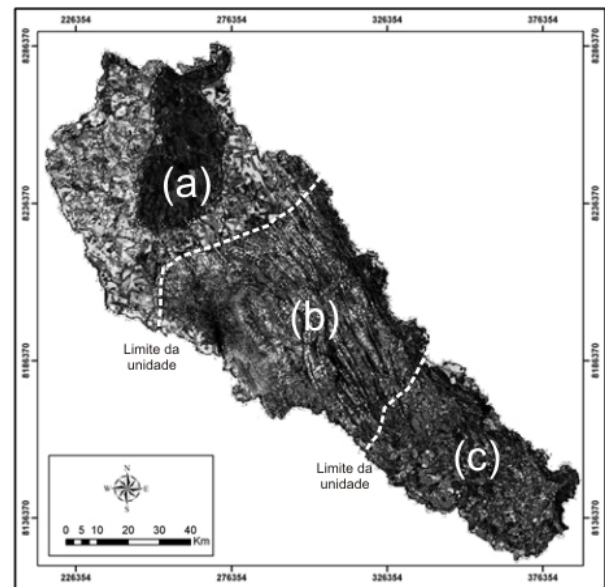


Fig. 2 – Grandes unidades geomorfológicas da bacia do rio Preto. (a) Planalto São Francisco; (b) Cristas de Unaí; e (c) Depressão Sanfranciscana.

O regime de vazão no rio Preto tem uma variação bastante acentuada como demonstram os dados das estações fluviométricas (Tab. 1). Essa diferença entre as vazões máximas e mínimas está relacionada ao regime de chuvas, que apresenta dois períodos bem distintos durante o ano, onde no verão apresenta altos índices pluviométricos e no inverno esses índices podem chegar à nulidade.

O clima da área apresenta uma natureza essencialmente tropical, onde as variações térmicas são pequenas, com o regime pluviométrico caracterizado por máximos no verão e mínimos no inverno. Na bacia ocorrem valores do total anual de precipitação decrescendo de 1600 mm a 1000 mm, no sentido oeste-leste. Portanto, caracteriza-se por um clima tropical

chuvoso típico, com chuvas concentradas nos meses de outubro a abril (MINAS GERAIS, 1998).

TABELA 1 – VAZÕES DAS ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS DA BACIA DO RIO PRETO

Código da Estação	Vazão (m ³ /s)		
	Máxima	Mínima	Média
42460000	102.92	45.26	63.58
42490000	154.47	43.29	78.4
42540000	165.01	47.67	80.92
42600000	208.81	57.21	103.58
42545002	21.08	2.64	5.21
42545500	29.62	3.47	8.55

A principal atividade econômica da bacia é a produção agropecuária. As porções mais planas são ocupadas pela agricultura mecanizada com a presença de vários pivôs centrais que indicam o grau de desenvolvimento da agricultura local. Entretanto, nesta porção da bacia se pode encontrar vegetação nativa do cerrado, presente no Centro de Treinamento do Exército Brasileiro, no município de Formosa (GO). A região central da bacia ainda apresenta algum nível de conservação, devido às características geomorfológicas da região, que dificultam a produção agrícola em grandes escalas, ocorrendo nessas áreas à pecuária e agricultura familiar à de pequena escala.

3. METODOLOGIA

O presente trabalho apresenta uma metodologia em SIG para determinar áreas propícias para a instalação de PCHs de acordo com o potencial natural. A metodologia utilizada considera as seguintes etapas (Ávila et al., 2003): (a) elaboração do Modelo Digital de Terreno (MDT), (b) regionalização dos dados de vazão, (c) cálculo da queda d'água, e (d) determinação do potencial energético para os pixels da imagem e a determinação das principais locais para implantação de PCHs.

3.1 Elaboração do MDT

Para a confecção do MDT foi utilizada a base cartográfica na escala 1:100.000, em formato digital, cedidas pela CODEVASF (Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba), contendo curvas de nível, pontos cotados e hidrografia. Esses dados foram corrigidos e posteriormente interpolados pelo módulo TOPOGRID do programa ArcInfo (ESRI, 1993). Esse procedimento emprega o algoritmo desenvolvido por HUTCHINSON (1989) que objetiva criar um MDT para estudos hidrológicos. O algoritmo foi elaborado para produzir um MDT acurado que contenha as propriedades das drenagens e a os dados de direção de fluxo. O procedimento conjuga tanto o esforço de manter as características hidrográficas, a remoção de dados

espúrios relativos a pontos de depressões ou de elevações e uma técnica de interpolação por diferenças finitas (HUTCHINSON, 1989). O MDT foi gerado com uma resolução espacial de 30 metros. A partir do MDT é elaborado o cálculo do desnível topográfico e da área de contribuição importante atributo para a regionalização dos dados de vazão.

3.2 Estimativa da Vazão

A maioria das bacias hidrográficas apresenta uma escassez de pontos de monitoramento e consequentemente de dados hidrológicos. Portanto, a disponibilidade hídrica nos diferentes trechos do rio pode ser estimada a partir da extrapolação de dados locais. Estas estimativas são baseadas em estudos como os de regionalização das curvas de permanência de vazões e o cálculo da vazão específica (SILVEIRA & TUCCI, 1998; TUCCI, 2000).

No presente trabalho os dados de vazão foram obtidos das séries históricas das estações fluviométricas disponibilizados pela ANA (Agência Nacional de Águas) no sistema HIDROWEB (Fig. 3). No entanto, observa-se que todas as estações fluviométricas apresentaram problemas quanto à consistência dos dados, sendo selecionado apenas os anos que continham todos os meses completos. No caso a estação fluviométrica 42545000 foi desconsiderada pois apresentava apenas dois anos completos. A partir dos dados de vazão foi feita a curva de permanência para obter os dados de vazão que tem 90% de permanência (Tab. 2).

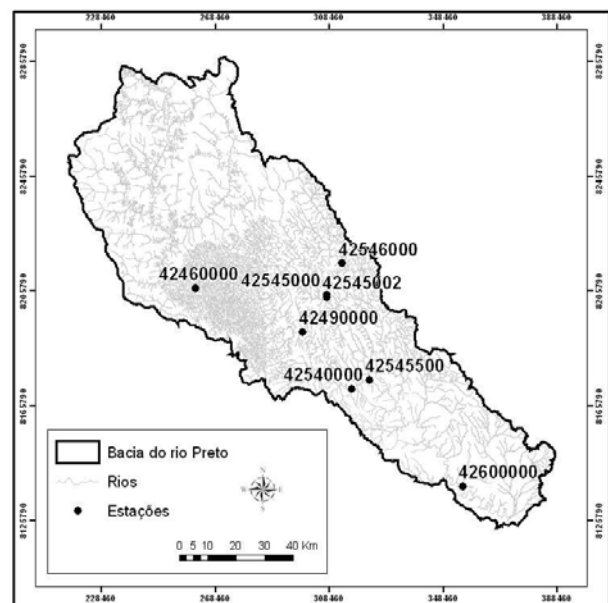


Fig. 3 – Estações fluviométricas disponíveis na bacia do rio Preto.

TABELA 2 – DADOS DE VAZÃO DA CURVA DE PERMANÊNCIA E DA RESPECTIVA ÁREA DE CONTRIBUIÇÃO DAS ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS UTILIZADAS.

ID	Código das Estações	Anos Completos	Área de Contribuição (m)	Permanência de Vazão (m³/s)		
				50%	90%	95%
1	42460000	17	156047600	51.4	23.6	19
2	42490000	26	216144800	55.2	23.3	19.2
3	42540000	36	238216656	54.76	20.8	16.47
4	42600000	28	378383104	69.4	29	23.85
5	42545002	13	16845398	3	1.66	1.59
6	42545500	17	21397600	4.08	1.57	1.22
7	42546000	27	21258844	3.27	1.57	1.29

Com o propósito de obter a vazão ao longo de todo o canal realizou-se uma regionalização da vazão utilizando como base o mapa de área de contribuição. Neste modelo a vazão de cada pixel é função da área de contribuição, que pode ser obtido utilizando diferentes algoritmos. Os dois principais métodos para o cálculo da área de contribuição são: (a) método D8, onde o fluxo é distribuído para apenas uma das 8 células adjacentes de acordo com a declividade (O'CALLAGHAN & MARK, 1984) (Fig. 4) e (b) método Dinf, que permite uma distribuição do fluxo de forma proporcional, pois neste algoritmo o fluxo de um pixel é distribuído por até dois pixels à jusante de acordo com o ângulo da menor declividade (TARBOTON *et al.*, 1997) (Fig. 5). RAMOS *et al.* (2003) em uma comparação entre os métodos demonstra uma melhor performance do método Dinf na definição da trajetória do fluxo superficial. Portanto, no presente trabalho é considerado o método Dinf consistindo em um aperfeiçoamento da metodologia descrita por ÁVILA *et al.* (2003) que utiliza o método D8 na estimativa do potencial energético para PCH.

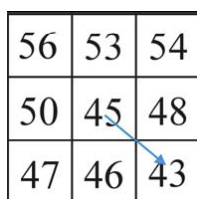


Fig. 4 - Representação esquemática da distribuição de fluxo no método D8.

A partir da área de contribuição é estabelecida uma função para estimativa de vazão pelo ajuste de uma função logarítmica entre a permanência de 90% da vazão e a área de contribuição. Essa regressão foi realizada utilizando as estações da bacia e o programa estatístico S-Plus (Fig. 6). A equação da estimativa de vazão (Q) obtida pela regressão logarítmica é expressa pela seguinte função da área de contribuição (Ac) (Eq. 2):

$$Q_{90\%} = -149 + [8.98 * \ln(Ac)] \quad (2)$$

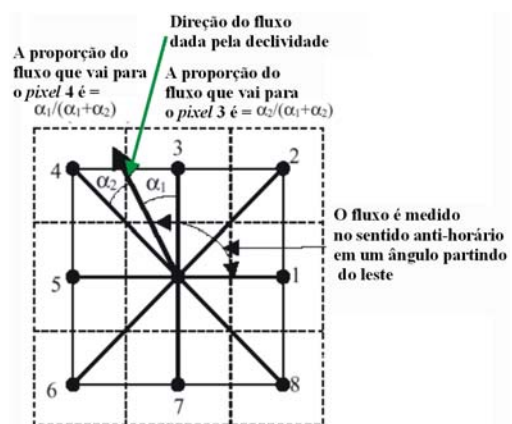


Fig. 5 - Representação do método Dinf, onde o fluxo assume uma determinada direção de acordo com a declividade. (Modificado de TARBOTON, 1997)

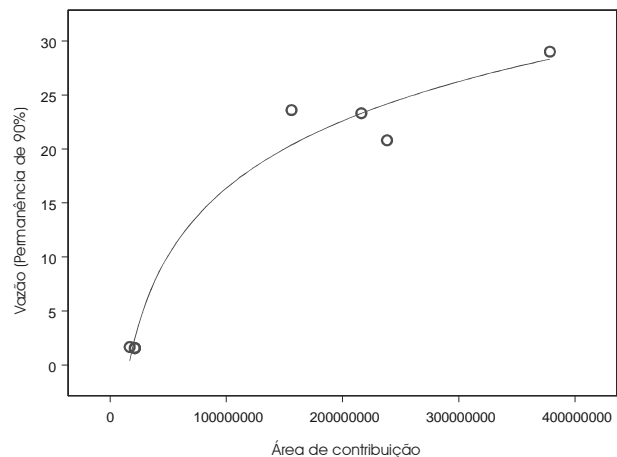


Fig. 6 – Gráfico da função logarítmica da curva de permanência pela área de contribuição.

Alternativamente, também foi feita realizada a extrapolação da vazão utilizando apenas, uma estação fluviométrica (42600000), com o mais alto grau de consistência e localizada mais a jusante. Para tal foi utilizado o calculado da vazão específica da estação conforme a Eq. 3 (PINTO *et al.*, 1976) e o cálculo da vazão específica por pixel (Eq. 4).

$$Q_e = Q/A \quad (3)$$

$$Q_{ep} = Q_e * A_p \quad (4)$$

Onde “ Q_e ” é a vazão específica; “ Q ” é a vazão; “ A ” é a área de contribuição, “ Q_{ep} ” é a vazão específica por pixel e “ A_p ” é a área do pixel em metro quadrado.

3.3 Cálculo do Desnível Topográfico

Foram gerados também dois mapas de desnível topográfico, um relativo ao desnível ao longo do canal do rio e o outro considerando o desnível nas margens do rio (ÁVILA *et al.*, 2003). Para obter o desnível no leito do rio foi usado o filtro FOCALMIN contido no programa ArcMap, esse filtro é composto de uma janela de 3x3 pixels e calcula o menor valor encontrado na janela (Fig. 7). O desnível é obtido pela subtração desse valor mínimo da janela com relação ao valor do pixel central expresso na Eq. 5:

$$D_f = CC_j - C_{Minj} \quad (5)$$

Onde “ D_f ” é o desnível ao longo do canal do rio; “ CC_j ” é o pixel central da janela e “ C_{minj} ” é o pixel com menor valor na janela.

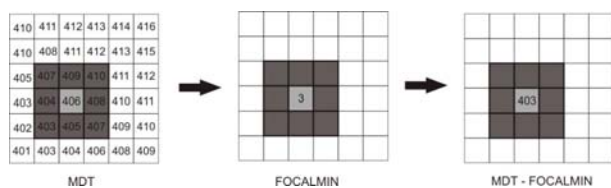


Fig. 7 – Representação esquemática do filtro FOCALMIN.

O outro desnível foi obtido com a aplicação do filtro FOCALMAX do programa ArcMap, que calcula para uma janela de 3x3 pixels o valor máximo. De forma análoga, o desnível é obtido pela subtração do valor máximo na janela com relação ao valor do pixel central expresso pela seguinte formulação (Eq. 6):

$$D_m = C_{Maxj} - CC_j \quad (6)$$

Onde “ D_m ” é o desnível topográfico da margem do rio; “ C_{maxj} ” é o pixel de valor máximo na janela e “ CC_j ” é o pixel central da janela.

4. RESULTADOS

Como resultados foram obtidos os seguintes mapas: (a) mapa de vazão do rio Preto, onde se tem a estimativa do valor da vazão pixel a pixel ao longo dos canais de drenagem; (b) mapa de desnível topográfico, onde foram destacados os valores acima de 10 a 15 metros, e (c) determinação de pontos de potencial hidrelétrico para implantação de PCHs.

O emprego do método D_{inf} permite uma melhor discriminação do fluxo superficial tornando o

modelo mais fidedigno com a realidade. No processo de regionalização dos dados de vazão observa-se que o emprego da regressão logarítmica a partir das estações fluviométricas apresenta um ajuste muito superior ao emprego de uma regressão linear com apenas 1 estação como foi adotado por ÁVILA *et al.* (2003) (Tab. 3). Os valores da estimativa de vazão de permanência 90% com a regressão logarítmica mostram-se bem próximos aos dados coletados mostrando uma eficiência do método para a área de estudo.

Analisando os dois mapas de desníveis é possível notar que as localidades de maior potencial de queda localizam-se em relação às margens do rio. Deve-se salientar que um limitante na geração deste tipo de informação é a escala da base cartográfica utilizada. Na literatura muitos estudos demonstram a interferência da escala nos dados morfométricos extraídos de MDT (Chang and Tsai, 1991; Fielding *et al.*, 1994; Zhang and Montgomery, 1994; Nogami, 1995; Evans and Cox, 1999; Valeriano, 2003). Apesar da variação nos valores absolutos a localização relativa das principais quedas é mantida o que permite uma confiabilidade do método.

O mapa das áreas potenciais foi gerado considerando os maiores desníveis nas áreas de vazões acima de 4 m³/s, uma vez que alguns tipos de turbinas necessitam de um mínimo de 1 m³/s para gerar energia. Assim, as áreas de alto potencial de implantação de PCH estão espalhadas ao longo do canal principal do rio Preto, principalmente nas regiões do médio e baixo rio Preto. Mesmo com algumas áreas de desnível nas margens o melhor tipo de PCH a ser implantada na região é a com barragem, devido às amplitudes das vazões e da viabilidade de multiuso das áreas alagadas.

Dentre as áreas selecionadas como locais potenciais para o aproveitamento hidroelétrico estão presentes a UHE de Queimado e as duas outorgas para PCHs, no Baixo Unaí e na Mata Velha (Fig. 8), o que vem comprovar a eficácia da metodologia adotada.

5. CONCLUSÕES

Nesse trabalho foram aprimorados os procedimentos, proposto por ÁVILA *et al.* (2003), para o cálculo da vazão e identificação de áreas propícias para instalação de PCHs. O ajuste da metodologia permitiu a obtenção de melhores resultados e performance na bacia do rio Preto.

O emprego do método D_{inf} para determinação da área de contribuição é mais adequado que o método D_8 para o presente propósito. Na regionalização da vazão utilizando a área de contribuição observa-se que os melhores resultados foram obtidos pelo emprego da regressão logarítmica que apresenta um alto ajuste. Na análise do desnível topográfico constata-se que os maiores valores consideram a variação proveniente das margens. Os ajustes propostos na metodologia de ÁVILA *et al.* (2003) permitem uma melhor performance na detecção das áreas para implantação de PCH e torna-se um eficiente instrumento na elaboração

de um inventário de potenciais hidroelétricos de forma automatizada.

Como trabalhos futuros o modelo pode ser aprimorado de forma a incluir uma análise da

quantidade e distribuição de PCHs conforme as condições da bacia considerando o impacto ambiental e social como outros atributos estipulados pela ELETROBRÁS-DNAEE (1997).

TABELA 3 – COMPARAÇÃO DOS DADOS DE VAZÃO. (* ESTAÇÕES UTILIZADAS).

ID	Estação (código)	Área de contribuição da estação	Q ₉₀	Q ₉₀ estimada com as 7 estações	Q ₉₀ estimada com 1 estação
1	42460000	129999944	23.6	20,41373	11.91
2	42490000	180414192	23.29	23,3393	16.53
3	42540000	198881040	20.79	24,21245	18.22
4	42600000	316479552	29	28,36773	29.01*
5	42545002	14117155	1.66	0,423501	1.29
6	42545500	22701762	1.57	2,571528	0.000019
7	42546000	17564146	1.57	2,513106	1.6

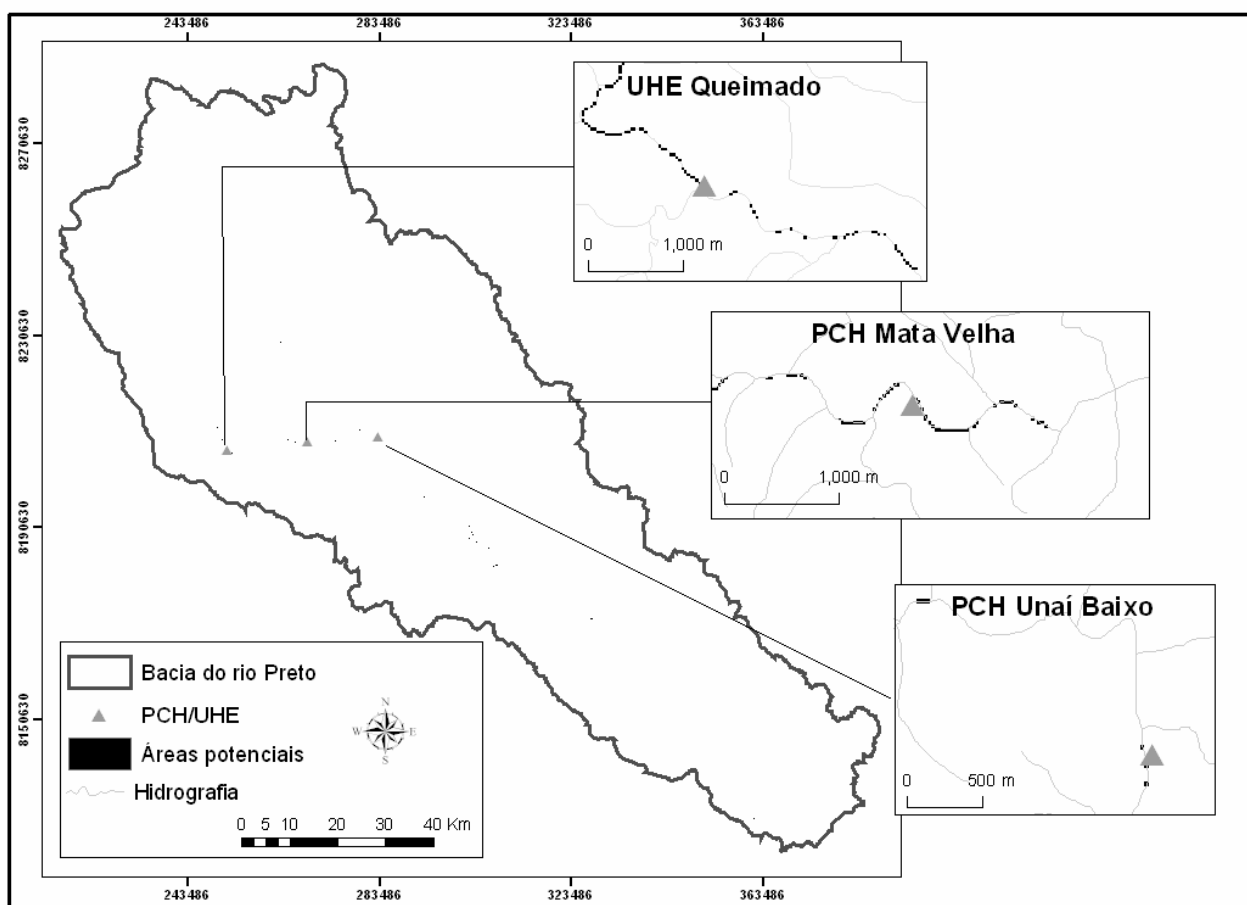


Fig. 8 – Locais onde existe a UHE de Queimado e as outorgas para construção de duas PCHs no mapa de áreas potenciais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ÁVILA, C.J.C.P.; CARVALHO JÚNIOR, O.A.; GUIMARÃES, R.F.; VERDÉSIO, J.J. Uso de ferramentas de SIG para inventário preliminar de

potenciais remanentes. **PCH Notícias SHP News**, v. 5, n. 17, p. 24-28, 2003.

BATZIAS, F.A.; SIDIRAS, D.K.; SPYROU E.K. Evaluating livestock manures for biogas production: a GIS based method. **Renewable Energy**, v. 30, p. 1161–1176, 2005.

- BROWN, L.R. **Eco-economy: building an economy for the earth**. New York, Norton, 2001. 333p.
- BROWN, L.R. **Plan B: rescuing a planet under stress and a civilization in trouble**. New York, Norton, 2003. 285p.
- CHANG, K.; TSAI, B. The effect of DEM resolution on slope and aspect mapping. **Cartography & GIS**, v. 18, p. 69-77, 1991.
- ELETROBRÁS. **Diretrizes para Estudos e Projetos de Pequenas Centrais Hidrelétricas. Brasília: Ministério das Minas e Energia**. Disponível em <<http://www.eletronbras.com.br>>. Acesso: 2 de agosto de 2006.
- ELETROBRÁS-DNAEE. **Manual de Inventário Hidrelétrico de Bacias Hidrográficas (Versão 2.0) - Volume 1 - Metodologia**. 1997. Disponível em: <<http://www.eletronbras.com.br>>. Acesso: 02 de agosto de 2006.
- EVANS, L.S.; COX, N.J. Relations between land surface properties: altitude, slope and curvature. IN: HERGARTEN, S.; NEUGEBAUER H.J. (Eds.). **Process modelling and landform evolution. (Lecture notes in earth sciences, 78)**. Berlin, Springer, p. 13-45, 1999.
- FIELDING, E.; ISACKS, B.; BARAZANGI, M.; DUCAN, D.D. How flat is Tibet? **Geology**, v. 22, p. 163-167, 1994
- FLORES, M.X.; MACÊDO, M.M.C. Novos Rumos do Desenvolvimento Rural. In: XXXVII Congresso Brasileiro de Economia e Sociologia Rural, Foz do Iguaçu, Paraná, 1999. **Anais...** Trabalho 364, 1999.
- FREY, G.W.; LINKE, D.M.. Hydropower as a renewable and sustainable energy resource meeting global energy challenges in a reasonable way. **Energy Policy**, v. 30, p. 1261-1265, 2002.
- GADSDEN S.; RYLATT, M.; LOMAS, K.; ROBINSON, D. Predicting the urban solar fraction: a methodology for energy advisers and planners based on GIS. **Energy and Buildings**, v. 35, p. 37-48, 2003a.
- GADSDEN, S.; RYLATT, M.; LOMAS, K. Putting solar energy on the urban map: a new GIS-based approach for dwellings. **Solar Energy**, v. 74, p. 397-407, 2003b.
- GRAHAM, R. Preliminary Investigation into the Hydropower Potential on Scottish Farms. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 70, p. 307-311, 1998.
- HICKS, C. Small hydropower in China a new record in world. **Refocus**, p.36-40, 2004.
- HILLRING, B.; KRIEG, R. Wind energy potential in southern Sweden example of planning methodology. **Renewable Energy**, v. 13, n. 4, p. 471-479, 1998.
- HUTCHINSON, M.F. A new procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of spurious pits. **Journal of Hydrology**, v. 106, p. 211-232, 1989.
- JEBARAJ S.; INIYAN S. A review of energy models. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 10, n. 4, p. 281-311, 2006.
- KALDELLIS, J.K.; VLACHOU, D.S.; KORBAKIS, G. Techno-economic evaluation of small hydro power plants in Greece: a complete sensitivity analysis. **Energy Policy**, v. 33, p. 1969-1985, 2005.
- KAREKEZI, S.; KITHYOMA, W. Renewable energy strategies for rural Africa: is a PV-led renewable energy strategy the right approach for providing modern energy to the rural poor of sub-Saharan Africa? **Energy Policy**, v. 30, p. 1071-1086, 2002.
- KHAN, M.J.; IQBAL, M.T.; MAHBOOB, S. A wind map of Bangladesh. **Renewable Energy**, v. 29, p. 643-660, 2004.
- MILLS, D. Assessing solar hot water system performance with GIS. **Solar Energy**, v. 76, p. 153-157, 2004.
- MINAS GERAIS. **Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paracatu. Relatório de Inventário dos Recursos Hídricos – Hidrologia**. 1998. Disponível em: <<http://www.hidricos.mg.gov.br>>. Acesso: 19 de abril de 2005.
- NOGAMI, M. Geomorphometric measures for digital elevation models. **Zeitschrift für Geomorphologie**, v. 101, p.53-67, 1995.
- O'CALAGHAN, J.F.; MARK, D.M. The extraction of drainage network from digital elevation data. **Computer Vision Graphics and Image Processing**, v. 28, p. 328-344, 1984.
- PAISH O. Small hydropower: technology and current Status. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 6, p. 537-556, 2002.
- PINTO, N.L.S. **Hidrologia Básica**. São Paulo, Ed. Edgard Blücher, 1998. 304p.
- RAMACHANDRA T.V.; SHRUTHI B.V. Wind energy potential mapping in Karnataka, India, using GIS. **Energy Conversion and Management**, v. 46, p. 1561-1578, 2005.
- RAMACHANDRA, T.V.; JHA, R.K.; KRISHNA S.V.; SHRUTHI B.V. Spatial Decision Support System for Assessing Micro, Mini and Small Hydel Potential. **Journal of Applied Sciences**, v. 4, n. 4, p. 596-604, 2004.
- RAMOS, V.M.; GUIMARÃES, R.F.; REDIVO, A.L.; CARVALHO JUNIOR, O.A.; FERNANDES, N.F. Avaliação de metodologias de determinação do cálculo de áreas de contribuição. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 4, n. 2, p. 41-49, 2003.
- RYLATT, M.; GADSDEN, S.; LOMAS, K. GIS-based decision support for solar planning in urban environments. **Computers, Environment and Urban Systems**, v. 25, p. 529-627, 2001.
- SCHNEIDER, L.C.; KINZIG, A.P.; LARSON, E.D.; SOLÓRZANO L.A. Method for spatially explicit calculations of potential biomass yields and assessment of land availability for biomass energy production in Northeastern Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 84, p. 207-226, 2001.
- SCHOBENHAUS, C. As faixas de dobramentos Brasília, Uruaçu e Paraguai-Araguaia e o Maciço Mediano de Goiás. In: SCHOBENHAUS, C. (Ed.). **Geologia do Brasil- texto explicativo do mapa**

geológico do Brasil e da área oceânica adjacente incluindo depósitos minerais, escala 1:2500000. Brasília, Departamento Nacional de Produção Mineral, p. 251-299, 1984.

SCISLEWSKI, G.; FRASCA, A.A.S.; ARAÚJO, V.A.; RODRIGUES, J.B.; GONÇALVES, H.S. Geologia. In: CPRM; EMBRAPA; SCO-MI. (Org.). **Zoneamento Ecológico-Econômico da Região Integrada de Desenvolvimento do Distrito Federal e Entorno - Fase I.** Brasília, MMA, v.1, p. 09-15, 2003.

SILVEIRA, G.L.; TUCCI, C.E.M. Monitoramento em pequenas bacias para a estimativa de disponibilidade hídrica. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 3, p. 97-110, 1998.

SORENSEN, B. GIS management of solar resource data. **Solar Energy Materials & Solar Cells**, v. 67, p. 503-509, 2001.

TARBOTON, D.G. A new method for the determination of flow directions and upslope areas in grid digital elevation models. **Water Resources Research**, v. 33, p. 309-319, 1997.

THORNBLOOM, M.; NGBANGADIA, D.; ASSAMA M. Using micro-hydropower in the Zairian village. **Solar Energy**, v. 59, n. 1-3, p. 75-81, 1997.

TOP, N.; MIZOUE N.; ITO, S.; SHIGETAKA. K. Spatial analysis of woodfuel supply and demand in Kampong Thom Province, Cambodia. **Forest Ecology and Management**, v. 194, p. 369-378, 2004.

TSOUTSOS, T.; MAVROGIANNIS, I.; KARAPANAGIOTIS, N.; TSELEPIS, S.T.; AGORIS, D. An analysis of the Greek photovoltaic market. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 8, n. 1, p. 49-72, 2004.

TUCCI, C.E.M. **Hidrologia – Ciência e Aplicação.** Porto Alegre, Ed. Universidade Federal do Rio Grande do Sul/ABRH, 2000. 944p.

VALERIANO, M.M. Mapeamento da declividade em micro bacias com Sistemas de Informação Geográfica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, n. 2, p. 303-310, 2003.

VOIVONTAS, D.; ASSIMACOPOULOS D.; KOUKIOS, E.G. Assessment of biomass potential for power production: a GIS based method. **Biomass and Bioenergy**, v. 20, p. 101-112, 2001.

VOIVONTAS, D.; TSILIGIRIDIS G.; ASSIMACOPOULOS D. Solar potential for water heating explored by GIS. **Solar Energy**, v. 62, n. 6, p. 419-427, 1998.

YUE C.D.; WANG S.S. GIS-based evaluation of multifarious local renewable energy sources: a case study of the Chigu area of southwestern Taiwan. **Energy Policy**, v. 34, n. 6, p. 730-742, 2006.

ZHANG, W.; MONTGOMERY, D.R. Digital elevation model grid size, landscape representation, and hydrologic simulations. **Water Resources Research**, v. 30, n. 4, p. 1019-1028, 1994.