

Desenvolvimento de Metodologia para Determinação do Potencial Hidráulico em Bacias Hidrográficas de Médio e Pequeno Porte

Thiago, G. L., Ribeiro V. J.

Resumo—Este documento apresenta a metodologia desenvolvida para determinar potenciais hidráulicos em bacias hidrográficas de pequeno e médio porte, adotando definição própria para esta classificação. São apresentadas as técnicas pesquisadas para o tratamento dos dados hidrológicos até a geração da correspondente série de vazões. Também são apresentadas as técnicas pesquisadas para o tratamento dos dados geográficos até a geração de modelos digitais de terreno. A partir dessas informações a metodologia criada permite ao usuário determinar o potencial hidráulico em um ponto qualquer da bacia hidrográfica através da utilização de uma ferramenta computacional elaborada em ambiente CAD e com uma interface amigável. De forma iterativa e podendo realizar diversas simulações de potencial, o usuário pode selecionar os melhores locais através dos relatórios fornecidos após a utilização da metodologia via software o que trará benefícios com maior agilidade e redução de custos no processo interno da concessionária.

Palavras-chave— *bacia hidrográfica, metodologia, potencial hidráulico.*

I. INTRODUÇÃO

A determinação de potenciais hidráulicos é uma tarefa multidisciplinar que engloba conceitos diversos: hidrologia, geografia, energia, dentre outros. A dificuldade em se ter uma aproximação confiável na fase preliminar é um obstáculo à tomada de decisão de investimentos. No projeto de P&D propôs-se desenvolver uma metodologia que permitisse, ainda em escritório, a determinação de potenciais hidráulicos com maior robustez e de forma interativa, podendo ser aplicada a diversos rios em bacias hidrográficas de pequeno e médio porte.

Para criar a metodologia, foram pesquisados os principais conceitos e métodos capazes de gerar uma regionalização de vazões e de criar modelos digitais de terrenos. Através do tratamento de dados hidrológicos e através das imagens digitais de satélites, a metodologia desenvolvida permite obter as séries de vazões médias mensais, os desníveis topográficos e as áreas alagadas, características que identificam o potencial e permitem classificá-lo.

Para que a aplicação da metodologia se torne mais fácil e intuitiva para os usuários, foi criada uma ferramenta compu-

tacional com software elaborado em ambiente CAD para que a empresa concessionária possa utilizar nos computadores de seu próprio sistema. O software permite diversas simulações de locais, desníveis topográficos, vazões e fornece relatórios para as escolhas simuladas. De posse dos relatórios é possível a hierarquização dos potenciais hidráulicos, conforme critérios da própria concessionária, para a seleção dos aproveitamentos que, prioritariamente, devam receber investimentos.

O Projeto recebeu o título de “Desenvolvimento de Metodologia para Determinação do Potencial Hidráulico em Bacias Hidrográficas de Médio e Pequeno Porte” cujo código ANEEL é 0064-007-2007, pertence ao ciclo de desenvolvimento 2007, e teve como entidade executora o Centro de Gestão de Tecnologia e Inovação – CGTI, tendo recebido da Concessionária AES Tietê S.A. o suporte financeiro.

II. PESQUISA REALIZADA E CONCEITOS DEFINIDOS

A. Bacias Hidrográficas

A bacia hidrográfica é uma área de captação natural da precipitação que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, seu exutório. A bacia hidrográfica compõe-se basicamente de um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos d'água que confluem até resultar um leito único no exutório[1].

As bacias hidrográficas assumem tamanhos que vão desde poucos quilômetros quadrados até milhares de quilômetros quadrados de área de drenagem, não existindo definições claras e objetivas quanto ao seu porte como pequenas, médias ou grandes.

No desenvolvimento do presente estudo considerou-se somente bacias hidrográficas classificadas como de pequeno e médio porte, portanto, fez-se necessário estabelecer um conjunto de premissas que facilitassem o desenvolvimento dos estudos, a começar por uma classificação das bacias quanto em relação às suas respectivas áreas de drenagem.

A partir de dados do Sistema de Informações do Potencial Hidrelétrico Brasileiro [2] acerca dos aproveitamentos existentes e estudados buscou-se identificar um comportamento que relacionasse os potenciais hidráulicos com o porte da bacia hidrográfica utilizando as informações de potência e área de drenagem dos aproveitamentos hidrelétricos inventariados, estudados, projetados e construídos, estabelecendo-se a seguinte definição:

✓ As bacias de pequeno porte para o estudo do poten-

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica regulado pela ANEEL ciclo 2007. Este trabalho foi apoiado integralmente pela Concessionária AES Tietê. O pesquisador G. L. Thiago trabalha na 'UNIFEI' enquanto que o pesquisador V. J. Ribeiro trabalha pelo 'CGTI'.

cial hidráulico são aquelas que apresentam área de drenagem de até 1.500 km² correspondente a uma capacidade média esperada para o potencial hidráulico de até 10 MW;

- ✓ As bacias de médio porte para o estudo do potencial hidráulico são aquelas que apresentam área de drenagem entre 1.500 km² e 9.000 km² correspondente a uma capacidade média esperada para o potencial hidráulico entre 10 e 50 MW;

B. Informações Hidrológicas

As informações hidrológicas são obtidas dos dados históricos das redes de monitoramento distribuídas ao longo das bacias hidrográficas. A rede fluviométrica ou rede de monitoramento corresponde ao conjunto de elementos utilizados para realizar o levantamento de dados hidrológicos de determinada bacia hidrográfica.

i. Estações Fluviométricas

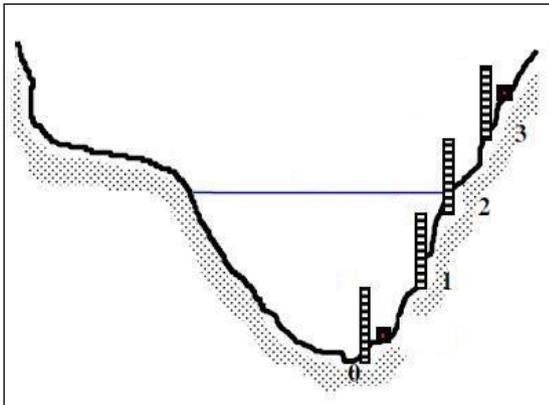


Figura 1. Esquema de um posto fluviométrico com os lances de réguas (adaptado de [13]).

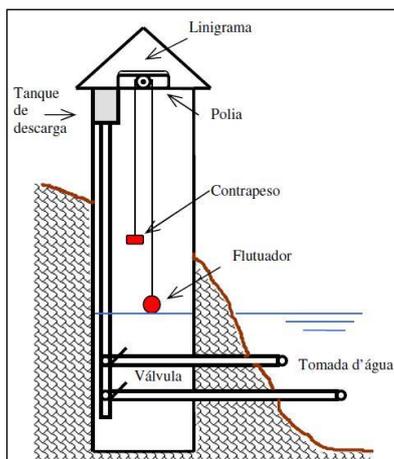


Figura 2. Estrutura de um posto fluviométrico fluviográfico (adaptado de [13]).

A rede de monitoramento é formada por estações fluviométricas (ou postos) convencionais e fluviográficas. O posto fluviométrico ou fluviômetro consiste em instalar, em uma seção de um curso d'água, dispositivos de medição do nível da água (vários lances de réguas (escalas) limnimétricas ou linígrafas, devidamente referidas a uma cota conhecida e

materializada no terreno), com facilidade para medição de vazão (botes, pontes, etc.) e estruturas artificiais de controle, se for necessário, conforme ilustrado na figura 1. Através do posto fluviométrico pode-se executar a leitura dos níveis d'água (N.A.'s). As leituras de réguas são realizadas diariamente pelo leitorista duas vezes ao dia (em geral as 7:00 e 17:00h), registrando os dados em uma caderneta. Existem também estações denominadas fluviográficas, onde se tem equipamentos que registram continuamente os níveis de água, conforme ilustrado na figura 2.

ii. Curva-Chave

A Curva-Chave de um curso de água é uma função que descreve a relação entre a vazão e a altura ou cota de escoamento, levando em conta as características geométricas e hidráulicas da seção transversal do curso de água considerado [5]. A Curva-Chave de uma seção de um curso de água permite calcular a descarga que corresponde a uma dada altura do nível de água. Essa relação é determinada por uma representação aproximada do traçado da curva de calibragem, feita a partir do resultado de medições de vazões e níveis de água e apoiada na análise dos parâmetros de escoamento. A relação cota-descarga é apresentada sob três formas: a representação gráfica, a fórmula matemática e a tabela de calibragem. A partir dos dados de medição de vazões (Q) e níveis de água (h), pode-se obter a Curva-Chave de duas formas: gráfica ou analiticamente. A experiência tem mostrado que o nível d'água (h) e a vazão (Q) ajustam-se bem à curva do tipo potência, conforme apresentado na equação 1.

$$Q = a \cdot (h - h_0)^b \quad (1)$$

Onde Q é a vazão (m³/s), h é o nível de água (m), h₀ corresponde ao valor de h para Q = 0 e a e b são constantes a serem determinadas para o posto.

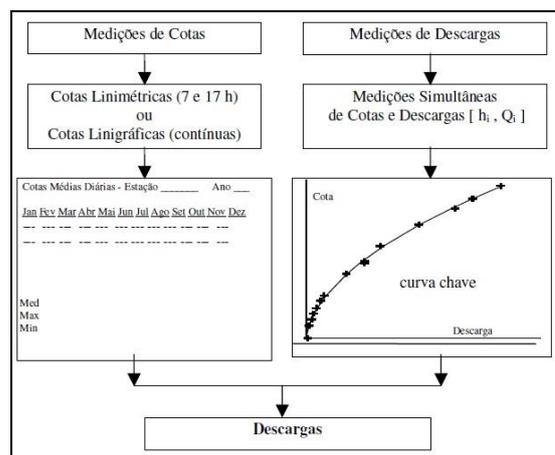


Figura 3. Obtenção de descargas a partir da Curva-Chave (adaptado de [13]).

Definida a Curva-Chave, pode-se obter os valores de vazão a partir das leituras das réguas do posto fluviométrico, aplicando-se a equação da Curva-Chave, conforme ilustrado na figura 3.

iii. Séries Hidrológicas de Vazões

As séries hidrológicas de vazões correspondem ao conjunto de dados de vazões ocorridas ao longo de determinado período de tempo em uma dada seção de um curso d'água. A representação dos dados de vazões ao longo do tempo corresponde ao fluviograma, o qual mostra o comportamento dos mesmos ao longo do tempo, podendo-se identificar os períodos com menores valores de vazões e os períodos onde ocorrem as cheias, conforme ilustrado na figura 4.

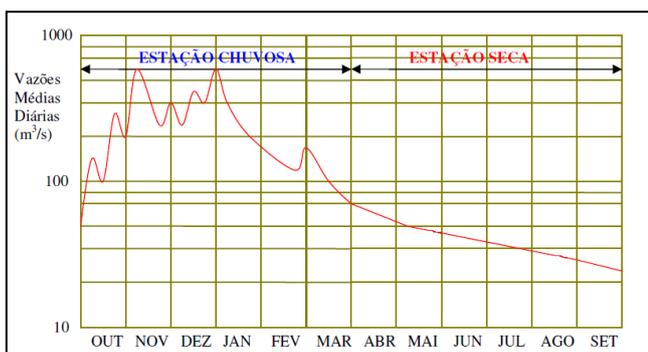


Figura 4. Fluviograma de uma estação fluviométrica (adaptado de [13]).

Para o desenvolvimento de estudos hidrológicos em um curso d'água ou bacia hidrográfica, deve-se buscar identificar os postos fluviométricos existentes na região dos estudos. A Agência Nacional de Águas (ANA) disponibiliza em seu site a listagem de todas as estações fluviométricas que estão sob sua responsabilidade bem como de entidades coligadas. Todas as estações fluviométricas possuem um código de identificação que passou a ser adotado a partir da década de 70 por força do Decreto nº 77.410, de 12 de abril de 1976. Para facilitar a codificação das estações fluviométricas, a ANA estabeleceu a divisão do território nacional em 12 regiões hidrográficas (nível 1), divididas em 83 unidades (nível 2) e 332 unidades (nível 3), conforme figura 5.

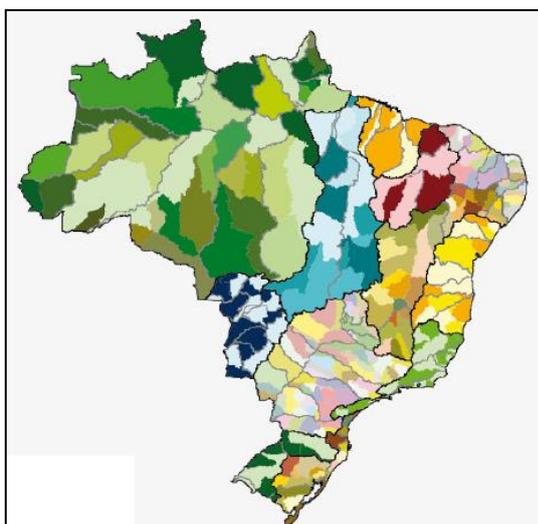


Figura 5. Regiões hidrográficas, sub-regiões e unidades hidrográficas. Fonte [10].

Para aumentar o nível de detalhamento e discretização para organização dos dados, as regiões hidrográficas foram

divididas em sub-regiões e unidades hidrográficas de referência, tornando a busca de informações dos postos fluviométricos junto ao banco de dados da ANA mais refinada. A figura 5 ilustra as regiões, sub-regiões e unidades hidrográficas existentes no Brasil, conforme definição da ANA.

A listagem de todas as estações fluviométricas pode ser obtida no endereço eletrônico da ANA (www.ana.gov.br), a qual contém todas as informações necessárias para a identificação da estação fluviométrica. Além da ANA existem outras entidades que possuem rede de monitoramento caso do Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) do estado de São Paulo e a Superintendência de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (SUDERHSA), entretanto, as entidades estaduais e particulares não necessariamente disponibilizam seus dados.

C. Sistema de Informações Geográficas

Um Sistema de Informações Geográficas (SIG ou GIS – Geographic Information System em inglês) é um sistema de hardware / software, que trabalha a informação espacial através de procedimentos computacionais que permitem e facilitam a análise, gestão ou representação do espaço e dos fenômenos que nele ocorrem. Os SIG's permitem compatibilizar a informação proveniente de diversas fontes, como informação de sensores espaciais (detecção remota / sensoriamento remoto), informação recolhida com GPS, Sistema de Posicionamento Global (do inglês Global Positioning System) ou obtida com os métodos tradicionais de Topografia. Um dos aspectos mais interessantes da tecnologia SIG é a variedade de maneiras em que a informação pode ser apresentada depois de ter sido processada.

Dentre as formas para a aquisição de dados para a implementação dos SIG's cita-se a digitalização, a fotogrametria e o uso do GPS que é um sistema extremamente preciso e rápido para posicionamento obtendo coordenadas dos pontos coletados a partir do processamento de informações referenciadas a vários satélites simultaneamente.

A digitalização é um processo utilizado para aquisição de dados existentes, sendo um dos métodos mais comumente utilizados, visto que os custos são menores. Com a digitalização é possível converter os dados analógicos para dados digitais por meio da digitalização manual ou automática. Já a fotogrametria é o procedimento de extrair das fotografias métricas, a forma, as dimensões e a posição dos objetos nelas contidos. Com a evolução da informática e das técnicas de processamento digital de imagens surgiu a Fotogrametria Digital.

D. Sensoriamento Remoto

O Sensoriamento Remoto pode ser definido, de uma maneira ampla, como sendo uma forma ou uma técnica de obter informações de um objeto, uma área ou um alvo, utilizando-se da radiação eletromagnética gerada por fontes naturais como o Sol e a Terra, ou por fontes artificiais como o Radar, sem que haja contato físico com aquele objeto, área ou alvo. Por não haver contato físico, a forma de transmissão dos dados (do objeto para o sensor) só pode ser realizada

pela Radiação Eletromagnética, por ser esta a única forma de energia capaz de se propagar pelo vácuo. Considerando a Radiação Eletromagnética como uma forma de energia, o Sensoriamento Remoto pode ser definido com maior rigor como uma medida de trocas de energia que resulta da interação entre a energia contida na Radiação Eletromagnética de determinado comprimento de onda e a contida nos átomos e moléculas do objeto, área ou alvo estudado.

Existem várias séries de satélites de Sensoriamento Remoto em operação. Entre eles pode-se citar os seguintes: LANDSAT, SPOT, CBERS, IKONOS, QUICKBIRD e NOAA. Os satélites das cinco primeiras séries são destinados ao monitoramento e levantamento dos recursos naturais terrestres, enquanto que os satélites NOAA fazem parte dos satélites meteorológicos, destinados principalmente aos estudos climáticos e atmosféricos, mas são também utilizados no SR [6].

Segundo [6], os sensores recebem e registram informações provenientes dos materiais da Terra pancromáticos, multi-espectrais, hiper-espectrais ativos ou passivos, e operam no espectro de microondas do espectro eletromagnético, ou no espectro ótico, capturando as propriedades físicas e químicas dos alvos.

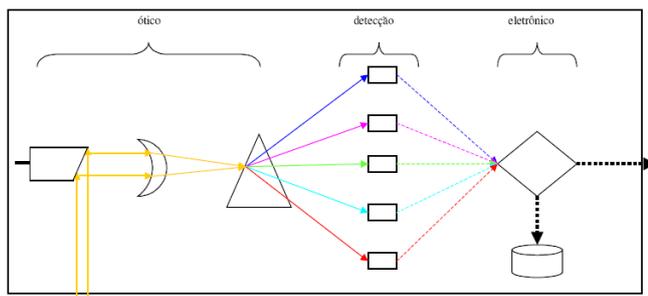


Figura 6. Conceito do sistema dos sensores. Fonte [6].

Os sensores são as máquinas fotográficas dos satélites, conforme ilustrado na figura 6. Estes dispositivos têm por finalidade captar a radiação eletromagnética proveniente da superfície terrestre, e transformar a energia conduzida pela onda, em pulso eletrônico ou valor digital proporcional à intensidade desta energia. A utilização do tipo mais adequado de sensor, em determinado nível de coleta de informações espectrais, depende, sobretudo, de fatores relacionados com o objetivo da pesquisa, tamanho da área imageada, disponibilidade de equipamentos sensores, além de custo e precisão desejados para os resultados a serem produzidos.

E. Procedimentos para Geração de um SIG

O tratamento de dados compreende um conjunto de procedimentos técnicos frequentemente utilizados para extrair informações a partir dos dados de sensoriamento remoto de acordo com os objetivos desejados. Segundo [11], esses procedimentos podem ser separados em várias etapas, com diversas atividades a serem desenvolvidas em cada uma delas até se obter o produto desejado, conforme ilustrado na figura 7.



Figura 7. Procedimento de extração de informações (adaptado de [11])

F. Imagem Digital

A imagem digital é formada pela conversão do sinal analógico medido pelo sensor em uma representação digital que possa ser armazenada num meio eletrônico compatível com o processamento por computadores. Segundo [7], a imagem digital é uma representação numérica quantizada dos valores de radiância correspondentes a cada pequena área unitária imageada no terreno (pixel). Estes valores digitais são normalmente referidos como níveis de cinza onde apenas valores inteiros e discretos são assumidos.

Em uma primeira aproximação, uma imagem digital é resultante da reflectância dos objetos imageados. A tonalidade ou cor em cada pixel é determinada pela alteração ou interação espectral da radiação solar incidente sobre o objeto ou emitida pelo mesmo. Diferentes objetos refletem e/ou emi-

tem diferentes quantidades de energia em diferentes comprimentos de onda e estas diferenças espectrais são registradas em uma imagem sob forma de variações de tonalidades, de cores ou de densidades. Os sensores remotos buscam detectar e mostrar as diferenças destas variações entre os objetos ou entre um objeto e o seu ambiente, sem as quais não haveria possibilidade de identificação. Assim cada pixel contém a informação espectral do objeto, área ou alvo de interesse. No caso da superfície terrestre, uma imagem digital pode conter sua informação espectral, a informação atmosférica, o relevo, a sazonalidade, etc.

G. Fontes de Imagem Digital e Aquisição das Imagens

Os modelos digitais de elevação (MDEs) representam fontes para o conhecimento do relevo da superfície terrestre, permitindo a derivação de informações sobre a declividade, exposição solar e mapeamento da rede de drenagem de áreas extensas. Isto facilita a identificação de áreas favoráveis para a agricultura (culturas, variedades, possibilidade de mecanização, necessidade de irrigação, estimativa de determinados custos), além de indicação de áreas para conservação do solo e da diversidade biológica, modelagem hidrológica, ortorretificação de imagens de satélite, avaliação de riscos de desmoronamentos, etc. [10].

Segundo [10], no início os modelos eram gerados a partir da digitalização de dados topográficos coletados em campo. Atualmente, modelos digitais de elevação obtidos por métodos como a estereoscopia orbital e interferometria por radar representam uma alternativa mais eficiente para a geração de bases topográficas padronizadas, cobrindo áreas relativamente extensas em menor tempo. Os MDE's são obtidos por métodos como a estereoscopia orbital e a interferometria por radar. A estereoscopia orbital baseia-se na comparação entre pares estereoscópicos de uma mesma área e a interferometria por radar representa uma técnica de imageamento ativo, em que o radar emite o sinal através de uma antena central e registra as características do retorno desse sinal através de duas antenas situadas a uma distância conhecida [10].

Para se adquirir as imagens dos MDEs para bacias hidrográficas existem endereços de internet que as disponibilizam gratuitamente, em escala compatível para aplicação no planejamento do uso do espaço agrícola, gestão ambiental, manejo de bacias hidrográficas, zoneamentos ecológicos, programas de conservação de florestas e de solo, entre outros.

As imagens dos MDEs podem ser obtidas de diversas fontes, tais como da Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), disponível no endereço eletrônico da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA: www.embrapa.br [9] ou do Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection (ASTER) disponível no site ASTER GDEM <http://www.gdem.aster.ersdac.or.jp/>.

III. METODOLOGIA DESENVOLVIDA NO PROJETO

A metodologia desenvolvida no Projeto de P&D consiste em:

(1) trabalhar os dados hidrológicos até a obtenção do comportamento das vazões médias mensais para um ponto qualquer de uma bacia hidrográfica,

(2) trabalhar os dados geográficos até a obtenção do comportamento do relevo de uma bacia hidrográfica representada pelas curvas de nível e

(3) aplicar uma rotina desenvolvida em software para interagir com o usuário na determinação do potencial hidráulico em um ponto qualquer de uma bacia hidrográfica e fornecer relatórios com simulações do potencial e suas características classificando de acordo com a regulamentação da ANEEL.

A. Tratamento dos Dados Hidrológicos

i. Séries de Vazões

A disponibilidade de séries de dados hidrológicos que sejam representativas em termos de quantidade e qualidade de informação é de fundamental importância para estudos do potencial hidráulico. Desta forma, busca-se séries de dados de vazões que sejam as mais fidedignas possíveis à realidade hidrológica dos locais a serem estudados para aproveitamento do potencial hidráulico.

Ao se obter séries de dados de vazões deve-se analisar as mesmas antes de se utilizá-las no desenvolvimento dos estudos, com a finalidade de identificar erros e inconsistências que porventura possam existir e que se não forem devidamente analisadas e corrigidas podem comprometer os resultados dos estudos de obtenção de vazões nos locais selecionados.

Os dados das séries de vazões devem ser analisados para identificação de falhas nos registros, erros de transcrição, repetição frequente de valores, não homogeneidade da série de dados e extensão do período de dados disponíveis. Devem ser realizados estudos de consistência, preenchimento de falhas e extensão da série de dados de vazões, podendo-se empregar correlações entre dados de estações fluviométricas próximas entre si, análise de fluviogramas, análise dos registros de leituras de régua e sua transformação em dados de vazões a partir da Curva-Chave.

Após terem sido realizados os estudos de consistência das séries de dados de vazões, o preenchimento de falhas, e a extensão da série de dados, quando possível, pode-se empregar os métodos de regionalização de vazões para obter as séries de vazões nos locais selecionados ao longo das bacias hidrográficas para o levantamento do potencial hidráulico.

As séries de vazões afluentes aos locais de estudo podem ser definidas mediante diferentes técnicas, devendo-se identificar os locais onde existem postos fluviométricos. É esperado ocorrer uma das seguintes situações: bacias com rede fluviométrica própria; bacias sem rede fluviométrica, mas próximas a outras com rede própria e bacias sem rede fluviométrica e distante de outras com rede própria.

No caso das bacias hidrográficas com rede de monitoramento as séries de vazões podem ser obtidas através da correlação da área de drenagem do local selecionado com a área de drenagem do posto fluviométrico, obtendo-se um fator multiplicador que aplicado aos dados da estação fluviométrica gera a série de dados para o local selecionado, conforme apresentado na equação 2.

$$Q_i = \left(\frac{A_1}{A_2} \right) \cdot Q_j \quad (2)$$

Onde Q_i é a vazão i (m^3/s) para o local selecionado, com i variando de 1 até n , Q_j é a vazão j (m^3/s) da estação fluviométrica, com j variando de 1 até n , A_1 é a área de drenagem do local selecionado e A_2 é a área de drenagem da estação fluviométrica.

Para bacias hidrográficas sem rede de monitoramento, mas próximas a outras bacias que possuem rede de monitoramento, com características físicas, de cobertura vegetal, geológicas, pedológicas e climáticas semelhantes entre si, ou seja, bacias homogêneas, pode-se obter as séries de vazões para os locais selecionados empregando-se a metodologia da vazão específica ou técnicas de regressão.

Nas bacias hidrográficas que não possuem rede de monitoramento e se encontram distantes de outras redes, pode-se empregar os modelos chuva-vazão para obtenção das séries de vazões.

ii. Regionalização de Vazões

O termo regionalização é utilizado em hidrologia para caracterizar a transferência de informações de um local para outro dentro de uma área de comportamento hidrológico semelhante. Esta informação pode vir na forma de uma variável, função ou parâmetro. O princípio da regionalização se baseia na similaridade espacial destas informações, o que permite a transferência, desde que atendidos alguns critérios.

A regionalização possui grande importância na previsão probabilística de riscos de enchentes e da disponibilidade hídrica de longo termo, para usos como a geração de energia ou a irrigação. Um benefício adicional da análise regional é o de permitir o aprimoramento da rede de coleta de dados hidrológicos, à medida que a metodologia explora melhor as informações disponíveis e identifica as lacunas [3].

Os modelos de regionalização são modelos matemáticos que utilizam equações de regressão para relacionar a variável dependente, por exemplo, a vazão média, com variáveis independentes que podem ser as características fisiográficas, climáticas ou de uso e ocupação do solo na bacia.

A escolha do método mais adequado a ser utilizado depende da quantidade de informações disponíveis, da qualidade das mesmas e de sua posição em relação ao local para onde se deseja transportar as informações. No estudo do Potencial Hidráulico de bacias hidrográficas a característica importante a ser definida é a vazão média, portanto, os métodos de regionalização devem buscar determiná-la.

A regionalização da vazão média e da sua distribuição estatística pode ser realizada utilizando-se os seguintes métodos: vazão específica, curva adimensional de probabilidades de vazões médias anuais, equação de regressão entre a média das vazões médias anuais ou a vazão média de longo período em função das características físicas ou climáticas das bacias e modelos que correspondem precipitação-vazão. A vazão média de longo termo corresponde à média das vazões médias mensais da série histórica de dados.

A vazão específica corresponde ao produto da divisão da vazão média de longo termo ou de longo período em um

ponto da bacia hidrográfica pela área de drenagem daquele ponto e pode ser obtida através da equação (3), ressaltando-se que a mesma tende a apresentar pequena variação em regiões onde as isoietas de precipitação apresentam pequena variação espacial.

$$q = \frac{Q_m}{A} \quad (3)$$

Onde q é a vazão específica ($m^3/s.km^2$), Q_m a vazão média de longo período ou longo termo (m^3/s) e A a área de drenagem do local (km^2).

O método de regionalização em função da vazão específica se baseia em estabelecer o comportamento desta vazão nos locais com dados conhecidos, criar um gráfico deste comportamento com uma curva de tendência, conforme apresentado na equação (4) e inferir os valores de vazão nos locais onde se deseja conhecer a vazão média.

$$Q_m = f.[q.A] \quad (4)$$

Onde q é a vazão específica ($m^3/s.km^2$), Q_m a vazão média regionalizada no local de estudo (m^3/s) e A área de drenagem do local estudado (km^2).

A Curva Adimensional de Probabilidades corresponde à curva que fornece, para cada posto fluviométrico, a probabilidade de que a vazão de um determinado ano seja maior ou igual a um determinado valor, representado como uma proporção da vazão média das médias anuais.

Para obter a Curva Adimensional de Probabilidades deve-se ajustar uma distribuição de probabilidades teórica ou empírica, cuja metodologia consiste nas seguintes etapas: seleção das vazões médias anuais de cada posto, determinação da vazão média de longo período de cada posto, determinação das vazões adimensionais de cada posto, verificação da tendência dos postos com plotagem das curvas adimensionais num mesmo gráfico, determinação das regiões em que os postos apresentam a mesma tendência de agregação, verificando-se posteriormente com a equação de regressão.

As equações de regressão também são utilizadas nos estudos de regionalização de vazões. A estatística a ser regionalizada, por exemplo, a vazão média anual, é expressa numa forma que mostra uma dependência hipotética sobre variáveis explanatórias, variáveis tais como a área da bacia, a declividade, entre outros.

Como a vazão média é o resultado da precipitação na bacia, das condições de evaporação, da cobertura do solo e do tamanho da bacia, a experiência hidrológica tem mostrado que a área de drenagem é o fator de maior peso no cálculo da vazão média. A vazão média geralmente apresenta muito boa correlação com a área da bacia, através de uma função de potência conforme a equação (5).

$$Q_m = a.A^b \quad (5)$$

Onde Q_m é a vazão média (m^3/s), A corresponde a área de drenagem do local (km^2), enquanto a e b são coeficientes geralmente determinados pelo método dos mínimos quadrados.

Os modelos precipitação-vazão tentam reproduzir o ciclo

hidrológico desde a precipitação até a correspondente afluência nos rios em forma de vazão. Estes modelos descrevem a distribuição espacial da precipitação, as perdas por interceptação, evaporação, depressão do solo, o fluxo através do solo pela infiltração, percolação e água subterrânea, escoamento superficial, subsuperficial e no rio [4].

Os modelos precipitação-vazão possuem parâmetros que devem ser calibrados com base nas informações hidrológicas existentes na bacia para que sejam confiáveis quanto aos resultados a serem obtidos nos estudos de preenchimento de falhas, extensão ou geração de séries de vazões no tempo e no espaço a partir de dados de precipitação.

iii. Vazão Média Mensal de Longo Termo

Na tentativa de obter a informação da vazão média mensal de longo termo em qualquer ponto de uma bacia hidrográfica, é conveniente estabelecer as Curvas Regionais. A Curva Regional de Vazões Médias de Longo Termo é obtida correlacionando os dados de áreas de drenagem das estações fluviométricas identificadas na região dos estudos, na própria bacia ou em bacias vizinhas, com os seus respectivos valores de Vazões Médias de Longo Termo obtidas de suas respectivas séries históricas de dados de vazões médias mensais.

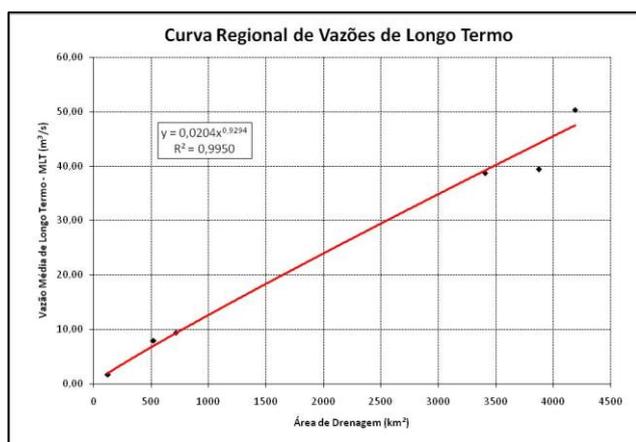


Figura 8. Curva Regional de Vazões de Longo Termo.

Ao plotar os pares de pontos em um gráfico ajusta-se uma curva através de regressão que representa o comportamento da Vazão Média de Longo Termo com a área de drenagem e, a partir desta equação, pode-se obter a Vazão Média de longo termo em qualquer ponto da bacia hidrográfica, bastando apenas informar o valor da área de drenagem do referido local. A figura 8 apresenta a Curva Regional de Vazões de Longo Termo de uma bacia hidrográfica de médio porte.

No aplicação da metodologia deve-se realizar várias simulações considerando-se diversas áreas de drenagem e valores de Vazões Médias de Longo Termo utilizando as informações disponíveis para identificar qual o tipo de curva que melhor se ajusta aos dados para representar o comportamento da Vazão Média de Longo Termo em relação à área de drenagem.

Dentre os diversos tipos de curvas, aquelas que apresentarem melhor ajuste aos pares de pontos são: polinomial, linear, potência, logarítmica, e exponencial. Este é, portanto, o

conjunto de curvas para serem preferencialmente utilizadas nos estudos, no ajuste de uma equação de regressão para a Curva Regional de Vazões de Longo Termo, conforme Tabela I.

Tabela I. Tipos de Curvas Regionais de Vazões Médias de Longo Termo

Tipo de Equação	Q_{mlt}	Equação
Potência	$A * (A_{dren})^B$	(6)
Logarítmica	$A * LN(A_{dren}) + B$	(7)
Polinomial	$A * (A_{dren})^2 + B * A_{dren} + C$	(8)
Exponencial	$A * exp(B * A_{dren})$	(9)
Linear	$A * A_{dren} + B$	(10)

Onde Q_{mlt} é a Vazão Média de Longo Termo (m³/s), A_{dren} é a área de drenagem do ponto (km²) e A , B e C são os coeficientes da equação.

Definida a Curva Regional de Vazões de Longo Termo e sua respectiva equação, obtém-se a Vazão Média de Longo Termo para qualquer ponto na bacia hidrográfica, bastando apenas conhecer a área de drenagem deste. Esta característica é um dos parâmetros necessários nas simulações e avaliações do potencial hidráulico.

B. Tratamento dos Dados Geográficos

i. Imagem Digital

A imagem digital adquirida é primeiramente tratada no software Global Mapper® para que seja possível seu manuseio no ambiente do AutoCAD Civil 3D®. Tanto as imagens SRTM da Embrapa quanto as imagens Aster do ASTERGDEM são inicialmente abertas no Global Mapper® utilizando-se suas configurações originais do sistema de coordenadas e datum, geralmente é utilizado o datum WGS-84 e o sistema de coordenadas geográficas.

Para alterar esta configuração original de forma que se possa trabalhar no AutoCAD Civil 3D® é necessário alterar o sistema de coordenadas para UTM (Universal Transversa de Mercator) através da janela de configuração de projeção do Global Mapper® atentando-se para configurar também a zona a qual pertence a imagem da região dos estudos.

Por fim, pode-se transformar a imagem em um arquivo do Modelo Digital de Elevação com a extensão “.dem”. Este arquivo comporta-se de melhor forma no ambiente do AutoCAD Civil 3D® agilizando certos processos o que antes seria impossível com a imagem original.

ii. Modelo Digital de Elevação da Bacia

O MDE representa o relevo da superfície de um determinado local, permitindo a derivação de informações como o mapeamento da rede de drenagem, os divisores de águas que delimitam uma bacia hidrográfica, obtenção de curva de nível de indicação de cotas e outras informações como as declividades. Para a obtenção do potencial estimado de locais numa bacia hidrográfica, o MDE facilita a identificação de áreas favoráveis a instalação de aproveitamentos hidrelétricos. Para os estudos desenvolvidos, os MDE's que são imagens digitais no formato raster são convertidos no formato vetorial para representar o relevo da superfície da ba-

cia hidrográfica estudada em sua totalidade.

iii. Geração do Raster da Bacia

O arquivo raster é criado utilizando-se como delimitador o *shape* que delimita a bacia hidrográfica estudada. Este *shape* é como um polígono fechado obtido no software Arcmap, do pacote Arcgis Desktop®, através de comandos e procedimentos específicos e com a utilização das imagens SRTM ou Aster do local estudado.

O *shape* é então aberto no software Global Mapper® juntamente com as imagens SRTM ou Aster. Quando é criado o raster do MDE indica-se como limitador o polígono do contorno da bacia hidrográfica para que apenas o interior deste seja preenchido com a imagem do MDE. A imagem raster do MDE está apresentada na figura 9.

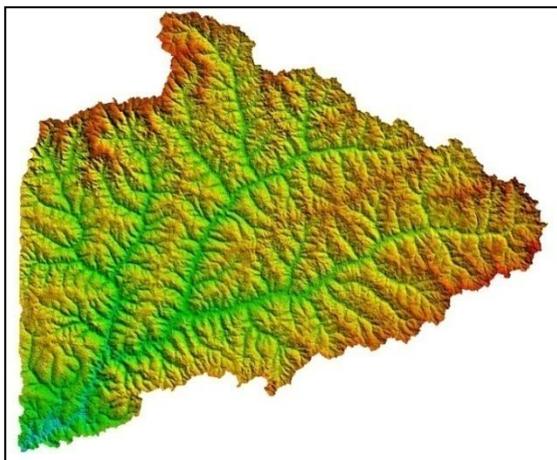


Figura 9. Imagem do MDE de uma bacia hidrográfica no formato raster.

Como se trata de uma imagem hipsométrica, onde as variações de cores indicam as elevações do MDE, sendo que tons esverdeados indicam baixas cotas e tons marrons indicam cotas mais elevadas. Posteriormente, esta mesma imagem é aberta no AutoCAD Civil 3D® e assume o formato vetorial.

Segundo [8], as curvas de nível não são marcadas no terreno, porém podem ser identificadas e representadas cartograficamente. As curvas de nível são um exemplo do conceito técnico cartográfico de "isolinhas", que são contínuas formadas de pontos de mesmo valor. A definição usual de Curva de Nível é uma linha traçada no mapa, carta ou planta topográfica, que representa uma linha imaginária na superfície da terra situada a uma elevação constante acima de um plano de referência, ou ponto zero, a partir do qual as elevações são medidas. A Curva de Nível de valor zero, a partir da qual se medem todas as demais, é aquela correspondente ao datum vertical adotado para a representação cartográfica. As Curvas de Nível mais grossas e numeradas, representadas nas Cartas Topográficas são chamadas de Curvas Mestras. No formato vetorial são encontradas as curvas de nível, *polylines* que possuem a mesma cota do terreno, onde as cores destas curvas as diferenciam entre curvas mestras (verdes) e intermediárias (marrons). Esta característica é um dos parâmetros necessários nas simulações e avaliações do potencial hidráulico.

C. Rotina em Software

No projeto de P&D desenvolveu-se uma rotina em software utilizando a linguagem compatível com os pacotes de CAD, trata-se da linguagem LISP. Apresenta-se a seguir a utilização desta rotina para determinação do potencial hidráulico em um ponto qualquer de um curso d'água em bacias hidrográficas de médio e pequeno porte, a partir das curvas regionais de vazões médias de longo termo e do comportamento das curvas de nível dos MDE's.

A rotina em software criada permite que através de alguns dados de entradas e informações fornecidas pelo usuário seja simulado automaticamente as condições de aproveitamento do potencial hidráulico e a classificação do mesmo conforme regulamentação da ANEEL.

Primeiramente, copia-se a pasta com os arquivos da rotina Lisppara a pasta "Documentos" do Windows. Abre-se o AutoCAD Civil 3D®, executa-se o comando `APPLOAD` e seleciona-se o arquivo "DOSlib" ou "DOSLibx64" caso o sistema for 32 ou 64 bits, respectivamente. Com a janela `APPLOAD` ainda aberta, seleciona-se o arquivo "Install.VLX". Estes arquivos se encontram na pasta DLL da pasta que foi anteriormente copiada. Fechando a janela `APPLOAD`, em seguida digita-se "inst" na linha de comando do AutoCAD e é solicitado a senha ADM que é fornecida pelo administrador do sistema. Por fim, reinicia-se o AutoCAD Civil 3D® para que se complete a instalação da rotina e verifica-se o login do usuário através da janela no canto inferior direito do AutoCAD Civil 3D®.

Após a instalação da rotina em software é aberto o arquivo com as linhas da rede de drenagem no programa AutoCAD Civil 3D®. Agora, utilizando-se o comando "`exrede`" pode-se exportar a rede de drenagem para outro arquivo "dwg" do AutoCAD Civil 3D® para se configurar os *layers* e o sistema de coordenadas do arquivo base. Este comando é utilizado apenas uma única vez, pois sempre que for necessário fechar e reabrir o AutoCAD Civil 3D® basta utilizar o comando seguinte e as configurações anteriores, descritas neste ponto, não se modificarão.

Iniciando uma nova janela do AutoCAD Civil 3D® o próximo comando é o "`inrede`" para que se importe a rede de drenagem configurada para este novo arquivo. Simultaneamente é pedido para que se indique o arquivo "dem", através da janela Open aberta, para que se crie a superfície do MDE.

Ao término do processo de abertura é feita pelo usuário uma análise prévia de locais de interesse na superfície do MDE. A identificação de locais com potencialidade para aproveitamento hidrelétrico observa os trechos onde há proximidade do fechamento das curvas de nível ao longo do talvegue do curso d'água, o que significa dizer, locais com declividade mais acentuada. Uma vez identificados locais com essa característica é interessante também que o usuário procure ao redor destes: (i) os trechos com ombreiras mais íngremes, (ii) os trechos a jusante com fechamento de outras curvas de nível para serem utilizados como queda adicional e (iii) os trechos a montante com fechamento de outras curvas de nível para serem utilizados como área a ser alagada para formação de reservatórios.

Com o comando "`eixo`" define-se, agora, através de um alinhamento o eixo do barramento através da indicação de

dois pontos, um em cada ombreira do local. Este alinhamento identifica a cota mínima do terreno no eixo para que posteriormente seja calculada a altura do barramento.

Na sequência utilizando o comando “*áreas*”, a superfície do MDE é alterada para transformar as curvas de nível em *polylines* individuais através do alinhamento do eixo selecionado, que serve como ponto inicial de corte e eliminação das *polylines* fora da área de reservatório. Em seguida indica-se em qual lado do eixo criado se deseja cortar e eliminar as *polylines*. Este comando pode ser acionado sempre que for necessário refazer os procedimentos para este mesmo barramento, basta inserir novamente a superfície original.

No próximo passo a rotina pede para que se entre com a altura mínima da barragem, em metros, que também corresponderá ao primeiro nível d’água (NA) do reservatório. Em seguida entra-se com o valor do incremento, em metros, para simular vários NA’s para o mesmo local. Para o cálculo das cotas de montante, tem-se a equação 11:

$$H_{montante(i)} = H_{jus} + H_{barr} + H_{inc} \quad (11)$$

onde H_{mont} é a cota de montante, H_{jus} é a cota de jusante, H_{barr} é a altura da barragem e h_{inc} é o incremento, todos em metros.

Agora a rotina pede para que sejam selecionadas as diferentes curvas de nível da simulação para identificar os diferentes NA’s possíveis. Feito isso, a rotina identifica as curvas de nível que correspondem aos NA’s dos reservatórios, alterando-se suas cores e, automaticamente, obtém os valores das áreas alagadas para que se verifique a condição de classificação dos potenciais hidráulicos como Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH’s) ou Usinas Hidrelétricas (UHE’s).

Segundo [12] que estabelece os critérios para o enquadramento de aproveitamentos hidrelétricos na condição de PCH, é considerado com características de PCH o aproveitamento hidrelétrico com potência superior a 1.000 kW e igual ou inferior a 30.000 kW, destinado a produção independente, autoprodução ou produção independente autônoma, que tenha área de reservatório inferior a 3,0 km².

Para o aproveitamento hidrelétrico que não atender esta condição de área, respeitados os limites de potência, modalidade de exploração e limite superior de 13,0 km² para a área do reservatório, é também considerado com características de PCH, caso se verifique a seguinte inequação:

$$A \leq \frac{14,3 \cdot P}{H_b} \quad (12)$$

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

Caso a área do reservatório seja maior que 13,0 km², ou não seja verificada a inequação (12) o aproveitamento é classificado com Usina Hidrelétrica (UHE).

Neste ponto a rotina pergunta se é previsto utilizar canal/túnel de adução, o que configura a existência de uma queda natural a jusante do barramento, ou seja, um desnível adicional para ser adicionado no cálculo do potencial estimado, caso afirmativo, ele pede para informar o desnível adicional, em metros.

Na sequência, entra-se com o nome do potencial hidráulico estudado, que aparecerá no relatório final. Feito o passo anterior, uma janela denominada “Curva Regional de Vazão de Longo Termo” é aberta e pede-se para que seja selecionado o tipo de curva anteriormente obtida no estudo hidrológico para a bacia hidrográfica estudada. Com a seleção da curva entra-se com os coeficientes A, B, C que a caracterizam.

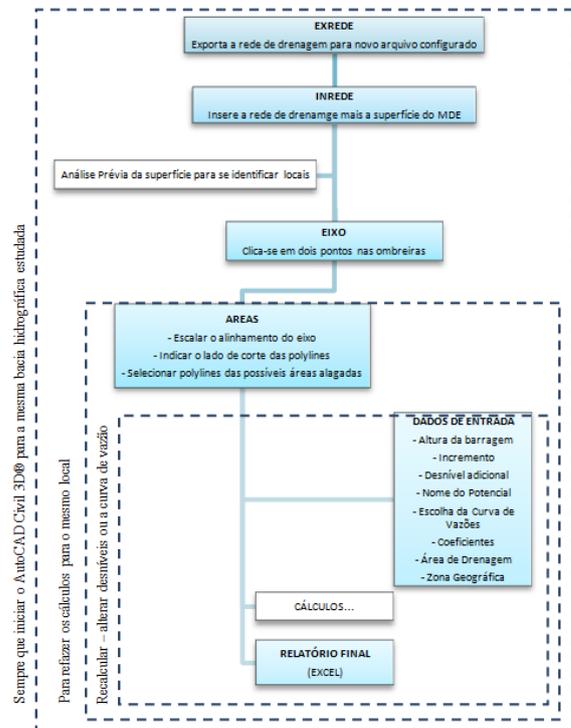


Figura 10. Fluxograma da rotina Lisp para o cálculo do potencial estimado.

Finalmente entra-se com o valor da área de drenagem para o local, em quilômetros quadrados, e a zona geográfica (fuso) a qual pertence o local do estudo para que sejam calculadas e apresentadas no relatório final tanto as coordenadas UTM quanto as coordenadas geográficas do local escolhido no desenvolvimento dos estudos. O relatório final com os dados de entrada e os cálculos dos potenciais estimados são apresentados no ambiente do software Microsoft Excel®. Na figura 10 é apresentado o fluxograma da execução da rotina para o cálculo dos potenciais nos pontos de interesse.

IV. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DESENVOLVIDA

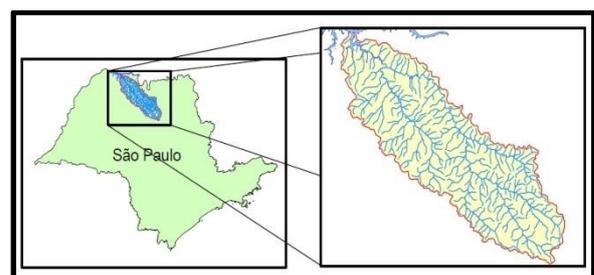


Figura 11. Bacia Hidrográfica do rio Turvo (inclui o Preto) em SP.

Para aplicar num caso prático a metodologia desenvolvida

e exemplificar a utilização da rotina criada em linguagem Lisp é apresentado este tópico com os resultados passo-a-passo e o relatório denominado de “Potencial Estimado para o Local Estudado”. A bacia hidrográfica selecionada é do rio Preto afluente do rio Turvo que por sua vez é afluente do rio Grande. A seleção seguiu a definição proposta no Projeto de P&D para o porte em função da área de drenagem, sendo que a bacia do rio Preto possui 2.875,8 km².

A. Tratamento das Informações Hidrológicas

Há disponibilidade de informações hidrológicas na própria bacia e nas bacias vizinhas. A bacia selecionada conta com duas estações fluviométricas operadas pelo DAEE-SP e uma estação operada pela AES. Enquanto que, nas bacias vizinhas são mais dezesseis outras estações operadas pelo DAEE-SP e quatro outras pela AES.

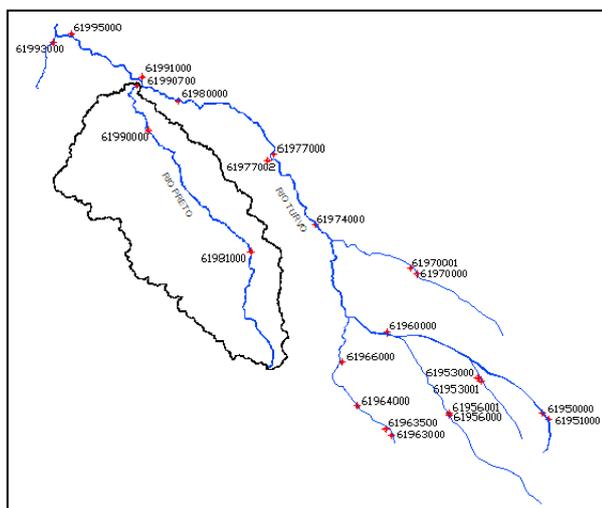


Figura 12. Localização das Estações Fluviométricas disponíveis.

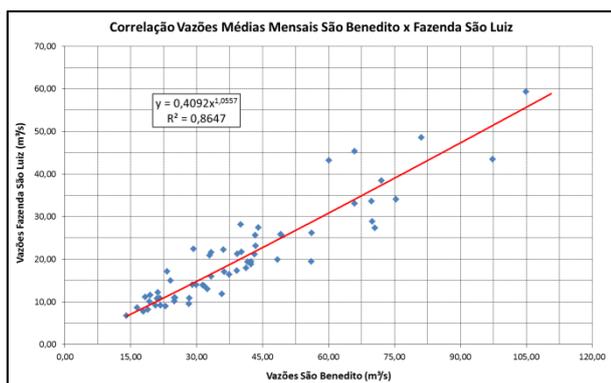


Figura 13. Correlação obtida entre estações do rio Preto e Turvo.

A partir dos dados de vazões das estações no rio Preto: Fazenda São Luiz (61990000) e Ipiúga (61981000), conjuntamente com as estações no rio Turvo: Sotero (61974000) e São Benedito (61960000) e as respectivas curvas-chave de cada uma delas ao longo do período de operação, foram analisados, o comportamento hidrológico, os períodos com falhas, a consistência dos dados de vazão diária e mensal e verificadas as correlações existentes entre as mesmas (vide figura 13). Através da identificação de similaridade no comportamento hidrológico e verificando as condições de clima,

relevante, precipitação e uso e ocupação do solo foi definida a homogeneidade entre as bacias para a aplicação dos conceitos de regionalização de vazões com o preenchimento das falhas existentes ao longo dos períodos de observação utilizando as equações de regressão. Ao final deste processo, obteve-se as séries de vazões médias mensais e a correspondente vazão média de longo termo nas quatro estações analisadas na bacia do rio Preto e na bacia vizinha do rio Turvo.

Ao plotar os pares de pontos em um gráfico ajusta-se a curva de regressão (conforme figura 14) que representa o comportamento da vazão média de longo termo em função da área de drenagem e, a partir desta equação, pode-se obter a vazão média de longo termo em qualquer ponto da bacia hidrográfica do rio Preto, bastando apenas informar o valor da área de drenagem do referido local.

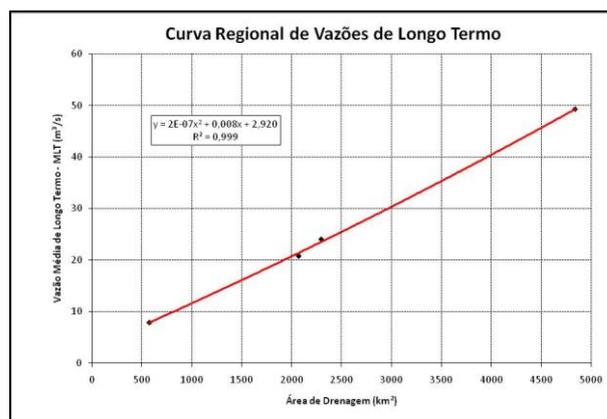


Figura 14. Curva Regional de Vazões de Longo Termo para o rio Preto.

B. Tratamento das Informações Geográficas

A bacia selecionada conta com imagens digitais do SRTM da Embrapa e ASTER da Astergdem. As imagens do SRTM já possuem o datum e sistema de coordenadas pré-definidos WGS-84 e coordenadas geográficas.

Primeiramente, no software Global Mapper® é feita a conversão para o sistema UTM e o datum SAD69, observando a zona à qual pertence a imagem, para que seja possível seu manuseio no ambiente do AutoCAD Civil 3D®. Adicionalmente, transforma-se a imagem em um arquivo do Modelo Digital de Elevação com a extensão “.dem”, o que permitirá agilizar certos processos mais tarde.

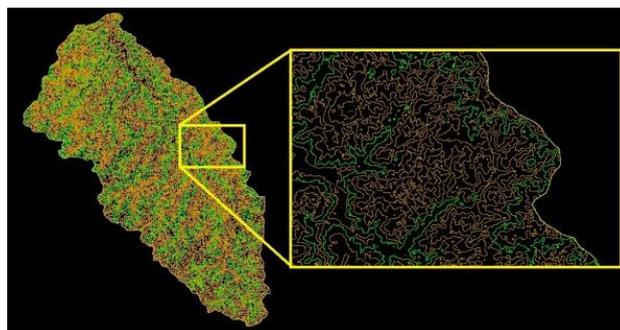


Figura 15. Curvas de nível na Bacia Hidrográfica do rio Preto.

Em seguida, utilizando o software Arcmap, do pacote Arcgis Desktop®, obtém o shape, um polígono fechado ob-

tido através de comandos e procedimentos específicos do software. Este *shape* é, então, aberto no software Global Mapper®, juntamente com a imagem digital, para a criação do raster do MDE dentro do interior do polígono. Então, procede-se à abertura do raster utilizando o software AutoCAD Civil 3D®, obtendo automaticamente o formato vetorial da bacia hidrográfica com as curvas de nível, conforme figura 15.

C. Aplicação da Rotina em Software

Após a instalação da rotina desenvolvida em Lisp, abre-se o arquivo com as linhas da rede de drenagem no programa AutoCAD Civil 3D® e usa o comando “*exrede*” para exportar a rede de drenagem para outro arquivo “*dwg*” onde o software configura os *layers*. A seguir utiliza-se o comando “*inrede*” que importa a rede de drenagem já configurada e, simultaneamente se indica o arquivo “*dem*” para a criação da superfície do MDE.

Neste ponto, através de uma análise do usuário se seleciona locais com potencialidade para o aproveitamento hidrelétrico, tendo sido escolhidos os Pontos denominados A (7769001N, 639630E) e B (7731000N, 658626E) como mais propícios e verificando as regiões imediatamente a jusante na procura de desnível adicional e imediatamente a montante na definição dos reservatórios.

Tabela II. Dados de entrada para execução da rotina *Lisp* para o Ponto A.

Dado de Entrada	Valor	Unidade
Nome do PotencialHidráulico	Ponto A	-
Coordenadas UTM do Eixo do Barramento	7.769.001 N 639.630 E	m
ZonaGeográfica	22	-
Área de Drenagem	2.888	km ²
AlturaMínima do Barramento	10	m
Valor do Incremento	5	m
Possui canal/túnel de adução	Não	-
DesnívelAdicional	-	m
Tipo da Curva Regional de Vazão de Longo Termo	Polinomial	-
Coefficiente A	0,0000002	-
Coefficiente B	0,0084	-
Coefficiente C	2,9208	-

Tabela III. Dados de entrada para execução da rotina *Lisp* para o Ponto B.

Dado de Entrada	Valor	Unidade
Nome do PotencialHidráulico	Ponto B	-
Coordenadas UTM do Eixo do Barramento	7.731.000 N 658.626 E	m
ZonaGeográfica	22	-
Área de Drenagem	1.178	km ²
AlturaMínima do Barramento	5	m
Valor do Incremento	3	m
Possui canal/túnel de adução	Sim	-
DesnívelAdicional	5	m
Tipo da Curva Regional de Vazão de Longo Termo	Polinomial	-
Coefficiente A	0,0000002	-
Coefficiente B	0,0084	-
Coefficiente C	2,9208	-

Usando o comando “*eixo*” define-se um alinhamento para

o local selecionado para barramento indicando dois pontos, um em cada margem do rio. O alinhamento identifica automaticamente a cota mínima do terreno no local. Em seguida, usando o comando “*áreas*”, altera-se a superfície do MDE transformando as curvas de nível em *polylines* individuais e indica-se que lado do eixo de barramento criado se deseja cortar e eliminar as *polylines*. A seguir, a própria rotina pede para que se entre com a altura mínima da barragem, valor do incremento e o desnível adicional nos casos de aproveitamentos com adução por canal ou túnel.

Relatório - Potencial Estimado para o Local Estudado					
PotencialHidráulico:	Ponto A				
Coordenada UTM:	7769001.558,639630.782				
Zona UTM:	22	Coordenada Long Lat (decimal):			-49.664,-20.171
Área de drenagem (km ²):	2.888				
Cota de Jusante (m):	395				
DESCRITIVOS CALCULOS					
Alternativas	1	2	3	4	5
Cotas de Montante (m)	405	410	415	420	425
DesníveisTopográficos (m)	10	15	20	25	30
ÁreasAlagadas (km ²)	0,39	0,69	2,67	10,78	48,84
Cálculo da Q _{mt} no local do Eixo					
Tipo de Equação	Polinomial				
Q _{mt} (m ³ /s)	28,85				
Cálculo da Potência Estimada (P _{est})					
Pot. Estimada (MW)	2,41	3,61	4,81	6,01	7,22
Verificandocôndição para PCH					
Verificar se PCH	PCH	PCH	PCH	UHE	UHE

Figura 16. Relatório do Potencial Estimado para o Ponto A.

Relatório - Potencial Estimado para o Local Estudado					
Potencial Hidráulico:	Ponto B				
Coordenada UTM:	7731062.514,658772.486				
Zona UTM:	22	Coordenada Long Lat (decimal):			-49.477,-20.512
Área de drenagem (km ²):	1.178				
Cota de Jusante (m):	438				
DESCRITIVOS CALCULOS					
Alternativas	1	2	3	4	5
Cotas de Montante (m)	443	446	449	452	455
DesníveisTopográficos (m)	10	13	16	19	22
ÁreasAlagadas (km ²)	1,59	3,06	6,61	10,69	15,55
Cálculo da Q _{mt} no local do Eixo					
Tipo de Equação	Polinomial				
Q _{mt} (m ³ /s)	13,09				
Cálculo da Potência Estimada (P _{est})					
Pot. Estimada (MW)	1,09	1,42	1,75	2,07	2,40
Verificandocôndição para PCH					
Verificar se PCH	PCH	UHE	UHE	UHE	UHE

Figura 17. Relatório do Potencial Estimado para o Ponto B.

Por fim, para o preenchimento do Relatório e para efetuar

os cálculos do potencial hidráulico, a rotina solicita as informações de: Nome do Potencial, tipo de curva regional de vazões e seus coeficientes, a área de drenagem e a zona geográfica. Um resumo dos dados de entrada fornecidos na execução da rotina em software, para os Pontos A e B estão apresentados nas Tabelas II e III, respectivamente.

No final do processo de execução da rotina *Lisp* é apresentado um relatório final com todas as informações que caracterizam o potencial hidráulico no local selecionado. Para os Pontos A e B, o relatório gerado pela rotina em software é apresentado nas figuras 16 e 17, respectivamente.

V. CONCLUSÕES

O estudo desenvolvido no Projeto de P&D permitiu aliar a pesquisa teórica com o resultado experimental prático, trazendo benefícios para a concessionária de energia com a possibilidade de efetuar pesquisas de novos potenciais hidráulicos de forma eficiente, com redução de custos e com uma abordagem científica. A utilização da metodologia desenvolvida nas bacias hidrográficas de interesse da concessionária, fará com que a tomada de decisão quanto a novos investimentos seja acompanhada de um respaldo técnico adequado e facilitará a contratação dos diversos serviços necessários para elaboração das documentações requeridas pela ANEEL para aprovação de aproveitamentos de potenciais hidráulicos para geração de energia elétrica.

Como contribuição para quaisquer outros interessados que tomem conhecimento da pesquisa desenvolvida, o projeto apresenta os conceitos e a metodologia que pode ser replicada em qualquer bacia hidrográfica de pequeno e médio porte. Em havendo interesse em investigar potenciais hidráulicos basta seguir os passos descritos para se obter uma estimativa inicial que permita a tomada de decisão de investir nos locais mais promissores.

Comenta-se que os objetivos estabelecidos no projeto de P&D foram obtidos ao final do trabalho:

- Identificação do potencial hidráulico através de tratamento digital das informações geográficas e de tratamento matemático das vazões de afluência,

- Desenvolvimento de uma aplicação em computador que incorpore uma apresentação gráfica e uma interface amigável para a análise do potencial hidráulico;

- Avaliação do potencial hidráulico, em caso prático, de bacias hidrográficas de médio e pequeno porte.

Por fim, destaca-se que novas pesquisas poderão acrescentar novas informações para melhorar, ainda mais, a caracterização do potencial hidráulico e o avanço dos softwares disponíveis no mercado pode tornar dispensável a utilização de mais de um deles. Uma sugestão para continuidade de pesquisa que permita o avanço desta tecnologia desenvolvida é abrigar dentro da mesma rotina de software a etapa de tratamento das informações geográficas. Outra sugestão é quanto à possibilidade de aprimorar o conceito energético simulando na rotina de software as motorizações possíveis para o potencial hidráulico estudado.

VI. AGRADECIMENTOS

Os pesquisadores manifestam seus sinceros agradecimen-

tos à Concessionária AES Tietê S.A. pela oportunidade e pela confiança no desenvolvimento deste Projeto e a o Centro de Gestão de Tecnologia e Inovação pelo apoio e suporte fornecido, sem o qual não seria possível atingir os objetivos propostos.

VII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Livros:

- [1] TUCCI, C. E. M. Regionalização de Vazões. In: Tucci, C. E. M. (ed.), Hidrologia: Ciência e Aplicação. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, ABRH, Edusp, 1993. p. 573-619. Porto Alegre, RS.
- [2] SIPOT - Sistema de Informações sobre o Potencial Hidrelétrico Brasileiro, ELETROBRAS, Rio de Janeiro, RJ, 2005.
- [3] TUCCI, C. E. M. Hidrologia: ciência e aplicação, 3ª ed., Editora UFRGS/ABRH, Porto Alegre, 2002.
- [4] TUCCI, C. E. M. (1998). Modelos Hidrológicos. Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, ABRH. Porto Alegre, RS.
- [5] JACON, G.; CUDO, K.J. Curva-chave: análise e traçado. Brasília: DNAEE, 1989. 273 p.
- [6] FIGUEIREDO, D. Conceitos Básicos de Sensoriamento Remoto. Companhia Nacional de Abastecimento – Conab, Brasília, DF, 2005.
- [7] ROSA, R. Introdução ao Sensoriamento Remoto. 4ª Edição, Uberlândia, MG, 2001.
- [8] ANDERSON, P. S. Princípios da Cartografia Topográfica. Vol. 2 – Tradução em Português. Illinois State University, Illinois, USA. 2002.

Relatórios Técnicos:

- [9] MIRANDA, E. E. de; (Coord.). Brasil em Relevô. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 29 nov. 2011.
- [10] ANA – Agência Nacional de Águas. Disponibilidade e Demanda de Recursos Hídricos no Brasil. Caderno de Recursos Hídricos. Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos, Superintendência de Conservação de Água e Solo e Superintendência de Usos Múltiplos. Brasília, 2005.

Artigos em Anais de Conferências (Publicados):

- [11] LANDAU, E. C. & GUIMARÃES, D. P. “Análise Comparativa entre os modelos digitais de elevação ASTER, SRTM e TOPODATA”, Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 30 de Abril a 05 de Maio de 2011, INPE p.4003, 2011.

Apostilas:

- [12] PERONI, R. L., Apostila 5 – Princípios de Sensoriamento Remoto. Informática Aplicada a Geografia, Faculdade do Noroeste de Minas – FINON, Paracatu, MG. 2004.
- [13] NAGHETTINI, M. Apostila – Notas de Aula do Curso Engenharia de Recursos Hídricos, Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia, Belo Horizonte, 1999.

Resoluções:

- [14] ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução 652 de 9 de Dezembro de 2003. Brasília, 2003.