

IV-002 - ANÁLISES HIDROLÓGICA E LOCACIONAL DA IMPLANTAÇÃO DE UMA PEQUENA CENTRAL HIDROELÉTRICA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO VALE DO JEQUITINHONHA

Geraldo Tadeu Rezende Silveira⁽¹⁾

Engenheiro Civil, Pós-Doutor em Engenharia Ambiental pela North Carolina State University, Doutor em Recursos Hídricos pela UFMG, mestre em engenharia ambiental pela École Polytechnique Fédérale de Lausanne (Suíça) e Mestre em Saneamento pela Unicamp, Professor PUC Minas.

Samuel Vinícius de Andrade Rocha

Engenheiro de Energia pela PUC Minas

Luana Cordeiro Maciel

Engenheiro de Energia pela PUC Minas

Endereço⁽¹⁾: Rua Plombagina, 350 – Colégio Batista - Belo Horizonte - MG - CEP: 31110-090 - Brasil - Tel: (31) 997654245 - e-mail: tadeugeraldo@yahoo.com e geraldotadeu@pucminas.br

RESUMO

Este artigo consiste na análise dos locais propícios para a implantação de uma Pequena Central Hidroelétrica (PCH) na Bacia Hidrográfica do rio Jequitinhonha. Para tal estudo, foram consideradas as características topográficas e hidrológicas desta Bacia, tendo sido realizado o estudo do potencial hidrelétrico, analisando as vazões Q₉₅, que representam as vazões que são maiores ou iguais a ela, durante 95% do tempo, do rio Jequitinhonha e seus principais afluentes em 22 áreas, definindo os locais a serem averiguados a presença de vazão e a topografia adequada. As vazões foram classificadas em alta, média e baixa quanto à disponibilidade de água, considerando um valor de energia gerada e eficiência da turbina fixas, sendo, a variação da classificação conforme a faixa de altura de coluna d'água necessária para a geração do valor mínimo de potência de uma PCH. Quanto à topografia, foi analisado visualmente com o uso do software Google Earth cada uma das regiões, prevendo o tamanho da área a ser alagada, classificando-as em alta, média e baixa, mediante à presença de declividade do terreno, coluna d'água formada e do terreno ser montanhoso. As regiões com presença de média ou alta disponibilidade de vazão e média ou alta favorabilidade para alagamento foram selecionadas para um estudo mais aprofundado com a análise topográfica do terreno nos trechos, verificando as curvas de nível nos reservatórios teóricos.

PALAVRAS-CHAVE: Pequenas centrais hidrelétricas, Estudos hidrológicos, Rio Jequitinhonha.

INTRODUÇÃO

Em 2014, o Brasil enfrentou um período de crise energética sem precedentes. Um dos fatores para esse processo tem como referência histórica a redução de investimentos nos setores de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica. A falta de investimento no setor, aliada ao aumento gradativo do consumo de energia elétrica, culminaram no estabelecimento da crise que afeta a população (AQUIM, 2015). Nesse atual cenário nacional, há uma necessidade urgente pela implantação de novas unidades geradoras de energia para o atendimento básico da população, principalmente em regiões mais afastadas dos grandes centros urbanos, onde o acesso à transmissão e à distribuição de eletricidade é insatisfatório.

O Brasil ocupa uma posição privilegiada em relação à disponibilidade de recursos hídricos. As pequenas centrais hidrelétricas (PCHs) estão distribuídas em todo o território nacional, geram empregos locais e não necessitam de grandes potências e comprimentos de linhas de transmissão. Além disso, esses empreendimentos contam com tecnologia geralmente nacional, o que permite fomentar a indústria brasileira (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2016). Na região nordeste do estado de Minas Gerais, conhecida como Vale do Jequitinhonha, localiza-se o rio Jequitinhonha com 1.082 km de extensão, tendo um alto potencial hídrico (COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS 2016). A implantação de PCHs neste rio possibilitaria o acesso de energia elétrica às regiões onde o setor energético é ainda ineficiente. Portanto, o presente estudo apresenta a análise de possíveis áreas com características hídricas e topográficas que

possibilitam a implantação de uma PCH na bacia do rio Jequitinhonha.

MATERIAIS E MÉTODOS

A definição do local propício para a implantação de uma PCH ocorreu mediante a consideração das características topográficas e hidrológicas da Bacia Hidrográfica do rio Jequitinhonha. O potencial hidrelétrico foi avaliado com o estudo das vazões Q_{95} (Tabela 1) do rio Jequitinhonha e seus principais afluentes em 22 regiões. Foi realizada a classificação das vazões nessa região em alta, média e baixa quanto à disponibilidade de água, considerando um valor mínimo de potência de uma PCH de 3 MW e de eficiência média da turbina de 93% fixas, sendo, a variação da classificação conforme a faixa de altura de coluna d'água necessária para a geração da potência. Para tanto, foram consideradas alta (ou baixa), as vazões de uma altura de coluna d'água inferiores a 20 metros; média, entre 20 e 33 metros; e baixa, as superiores a 33 metros.

Quanto à topografia, foi verificado visualmente, com o uso do software Google Earth em cada uma das regiões, as suas características topográficas, considerando a favorabilidade para a área ser alagada, classificando-as em alta, média e baixa, mediante a presença de declividade do terreno, a coluna d'água formada no trecho e a presença de terreno montanhoso. Perante as classificações das vazões e topografia (Tabela 1), para as áreas com presença de média ou alta disponibilidade de vazão e média ou alta favorabilidade para alagamento foram desenvolvidos os mapas topográficos com as curvas de nível para verificação da conformidade do reservatório e da correta classificação topográfica das áreas. Os mapas foram elaborados com o uso do software ARCGIS.

RESULTADOS

A partir da análise das 22 vazões Q_{95} e da análise prévia das localidades, foi elaborada a Tabela 1 abaixo, representando cada uma das 22 localidades e regiões analisadas.

Tabela 1 - Análise prévia das 22 localidades de vazão Q_{95}

Região	Rio	Vazão Q_{95} (m ³ /s)	Disponibilidade de vazão	Descrição da Localização e trecho	Caimento (metros)	Condição Favorável em relação à de Área a ser Alagada
1	Jequitinhonha	5,90	Baixa	Início na latitude 18°19'11.01"S e longitude 43°29'4.96"O. Fim na latitude 18°18'9.27"S e longitude 43°29'54.00"O. Trecho de 3,1 km.	35	Alta
2	Vacaria	0,49	Baixa	Início na latitude 16°14'51.98"S e longitude 42°31'57.99"O. Fim na latitude 16°13'6.55"S e longitude 42°32'39.77"O. Trecho de 4 km.	18	Baixa
3	Itacambirucu	1,29	Baixa	Início na latitude 17°18'19.11"S e longitude 43° 9'29.10"O. Fim na latitude 16°35'30.82"S e longitude 42°51'14.14"O. Trecho de 6 km.	96	Alta
4	Jequitinhonha	13,92	Média	Início na latitude 17°18'19.11"S e longitude 43° 9'29.10"O. Fim na latitude 17°18'13.35"S e longitude 43°11'13.13"O. Trecho de 7 km.	7	Baixa
5	Jequitinhonha	19,57	Alta	Início na latitude 16°39'0.77"S e longitude 42°24'52.76"O. Fim na latitude 16°42'7.38"S e longitude 42°31'49.27"O. Trecho de 15 km.	28	Alta

6	Jequitinhonha	21,91	Alta	Início na latitude 16°37'35.32"S e longitude 42°18'49.65"O. Fim na latitude 16°38'36.28"S e longitude 42°22'8.72"O. Trecho de 7 km.	10	Alta
7	Gravata	0,85	Baixa	Início na latitude 16°59'9.71"S e longitude 42° 7'2.12"O. Fim na latitude 17° 0'1.53"S e longitude 42° 6'52.64"O. Trecho de 3 km.	5	Baixa
8	Gravata	0,21	Baixa			
9	Fanado	1,30	Baixa	Início na latitude 17° 9'46.36"S e longitude 42°37'36.41"O. Fim na latitude 17°12'11.68"S e longitude 42°36'27.87"O. Trecho de 5,5 km.	25	Alta
10	Araçuaí	6,88	Baixa	Início na latitude 17°37'45.87"S e longitude 43° 2'16.11"O. Fim na latitude 17°39'38.24"S e longitude 43° 3'59.84"O. Trecho de 6,5 km.	7	Baixa
11	Araçuaí	12,69	Média	Início na latitude 17°15'38.66"S e longitude 42°46'35.84"O. Fim na latitude 17°16'23.86"S e longitude 42°49'7.51"O. Trecho de 7,6 km.	29	Alta
12	Araçuaí	15,04	Média	Início na latitude 17° 5'57.98"S e longitude 42°39'6.33"O. Fim na latitude 17° 7'29.72"S e longitude 42°41'25.68"O. Trecho de 7 km.	10	Media
13	Araçuaí	16,58	Alta	Início na latitude 16°55'54.29"S e longitude 42°25'17.32"O. Fim na latitude 16°56'25.74"S e longitude 42°27'46.99"O. Trecho de 9 km.	18	Baixa
14	Araçuaí	16,54	Alta	Início na latitude 16°49'18.14"S e longitude 42° 2'48.65"O. Fim na latitude 16°51'4.24"S e longitude 42° 4'47.07"O. Trecho de 7,5 km.	3	Baixa
15	Ribeirão São Jose	0,89	Baixa	Início na latitude 16°41'43.42"S e longitude 41°29'57.01"O. Fim na latitude 16°43'48.34"S e longitude 41°30'17.99"O. Trecho de 5,5 km.	14	Baixa
16	São Miguel	1,73	Baixa	Início na latitude 16°35'43.37"S e longitude 41° 1'22.72"O. Fim na latitude 16°37'24.45"S e longitude 41° 1'38.52"O. Trecho de 4,5 km.	16	Baixa
17	São Francisco	0,42	Baixa	Início na latitude 16° 8'42.05"S e longitude 40°42'5.76"O. Fim na latitude 16° 8'8.46"S e longitude 40°43'29.04"O. Trecho de 4,2 km.	5	Baixa

18	Jequitinhonha	36,36	Alta	Início na latitude 16°43'38.47"S e longitude 41°56'27.58"O. Fim na latitude 16°45'38.04"S e longitude 42° 0'31.85"O. Trecho de 9,8 km.	6	Baixa
19	Jequitinhonha	34,70	Alta	Início na latitude 16°34'20.66"S e longitude 41°24'9.69"O. Fim na latitude 16°33'30.09"S e longitude 41°28'44.55"O. Trecho de 8,7 km.	4	Baixa
20	Jequitinhonha	41,35	Alta	Início na latitude 16°20'22.11"S e longitude 40°54'6.20"O. Fim na latitude 16°24'32.00"S e longitude 40°56'44.40"O. Trecho de 10 km.	10	Baixa
21	Jequitinhonha	59,35	Alta	Início na latitude 16° 8'11.20"S e longitude 40°11'11.99"O. Fim na latitude 16° 8'30.68"S e longitude 40°16'17.75"O. Trecho de 10 km.	5	Baixa
22	Jequitinhonha	57,22	Alta	Presença da usina hidroelétrica de ITAPABI na região analisada. Região próxima ao ponto de latitude 15°56'49.08"S e longitude 39°31'24.51"O.	xxxx	Inexistente

Fonte: Elaboração própria – 2018

As vazões Q_{95} foram classificadas em alta, média e baixa quanto às suas disponibilidades. A disponibilidade é baixa quando as vazões são inferiores a 10 m³/s, considerando que, para a geração de 3.000 kW, com eficiência média da turbina de 93%, a altura mínima para essa geração seja de 33 metros, uma altura considerada alta para a barragem de uma PCH. Disponibilidade média é quando as vazões são superiores a 10 m³/s e inferiores a 16 m³/s, para a geração de 3.000 kW, entre esses valores de vazão, a altura varia de 20 a 33 metros, uma altura considerada média para as barragens das PCHs. E a disponibilidade é alta para vazões superiores a 16 m³/s, para a geração de 3.000 kW, a altura mínima é inferior a 20 metros.

Sendo assim, quanto às vazões, as mais indicadas são as das localidades no próprio rio Jequitinhonha, representadas pelas regiões de 4 a 6 e de 18 a 22. Também as localidades no rio Araçuai, representadas pelas regiões de 11 a 14. Quanto mais próxima da foz do rio Jequitinhonha, maior será a vazão Q_{95} , sendo ideal para a implantação de uma PCH, porém a declividade do terreno é menor, o que pode interferir na implantação do empreendimento ou tornar-se um obstáculo.

Com o auxílio do software Google Earth, foi analisado os 22 locais. Essa é uma análise visual do terreno, verificando a presença de obstáculos para a implantação do reservatório da PCH. Cada uma das 22 localidades foi classificada como de baixa, média ou alta favorabilidade de área alagável.

Em relação à Condição Favorável em Relação à de Área a ser alagada, a região 1 foi classificada como ALTA, ou seja, alagaria uma pequena área, sendo o trecho do rio analisado montanhoso e declividade com queda de 35 metros em 3,1 km, apresentando características favoráveis à implantação de um reservatório de volume significativo em um trecho menor.

Um terreno montanhoso é favorável à implantação de um reservatório, pois ele faz com que a água se acumule e não escoe pelas laterais, isso aliada à alta declividade proporciona à implantação de uma barragem com maior queda. Por outro lado, caso haja um vale junto ao terreno montanhoso, haverá um empecilho à instalação da PCH, pois, embora o terreno montanhoso auxilie no acúmulo de água, o vale, por ser uma área baixa, causa o escoamento da água, impedindo seu acúmulo.

Em relação à Condição Favorável em Relação à de Área a ser alagada, a região 2 foi classificada como BAIXA, ou seja, alagaria uma área de tamanho significativo. É uma região mais plana, o que dificulta o acúmulo de água

para formar o reservatório, embora apresente uma declividade de 18 metros em 4 km. Todavia, a região apresenta uma mata nativa no trecho analisado.

Em relação à Condição Favorável em Relação à de Área a ser alagada, a região 3 foi classificada como MÉDIA, ou seja, alagaria uma área de tamanho intermediário, embora apresente uma declividade de 96 metros em um trecho de 6 km. Apresenta também, do lado esquerdo do trecho analisado, uma região montanhosa favorável, porém, do lado direito, há uma região mais plana, o que dificulta a implantação de um reservatório.

Em relação à Condição Favorável em Relação à de Área a ser alagada, a região 4 foi classificada como BAIXA, ou seja, alagaria uma área de tamanho significativo, pois apresenta um região plana com declividade de 7 metros em 7 km, o que é um empecilho para implementação de um reservatório. Logo, o ideal nessa área seria a implantação de uma geração hidroelétrica a fio d'água, pois apresenta uma alta vazão. A região 5 apresenta uma alta favorabilidade de área alagável, pois é uma região montanhosa de declividade do terreno de 28 metros em 15 km.

Em relação à Condição Favorável em Relação à de Área a ser alagada, a região 6 foi classificada como ALTA, ou seja, alagaria uma pequena área, sendo uma região montanhosa favorável, com uma declividade de 10 metros em 7 km. Além disso, a região apresenta condições topográficas propícias ao acúmulo de água e a implantação de um reservatório. As regiões 7 e 8 estão próximas entre si, apresentando uma baixa favorabilidade de área alagável, por ser uma região muito plana e de declividade do terreno de 5 metros em 3 km.

Em relação à Condição Favorável em Relação à de Área a ser alagada, a região 9 foi classificada como ALTA, ou seja, alagaria uma pequena área, sendo uma região montanhosa de declividade do terreno de 25 metros em 5,5 km. Apresenta condições topográficas propícias à implantação de um reservatório.

Em relação à Condição Favorável em Relação à de Área a ser alagada, a região 10 foi classificada como BAIXA, ou seja, alagaria uma área de tamanho significativo, sendo uma região mais plana com declividade de 7 metros em 6,5 km.

Em relação à Condição Favorável em Relação à de Área a ser alagada, a região 11 foi classificada como ALTA, ou seja, alagaria uma pequena área, sendo uma região montanhosa de topografia propícia para o acúmulo de água e implantação de um reservatório, com declividade do terreno de 29 metros em 7,6 km.

Em relação à Condição Favorável em Relação à de Área a ser alagada, a região 12 foi classificada como MÉDIA, ou seja, alagaria uma área de tamanho intermediário, apresentando características similares a da região 11, porém com baixa declividade de 10 metros em 7 km, a região é menos montanhosa que a região 11. Todavia, apresenta condições propícias ao acúmulo de água e para a instalação de um reservatório.

Em relação à Condição Favorável em Relação à de Área a ser alagada, a região 13 foi classificada como BAIXA, ou seja, alagaria uma área de tamanho significativo, sendo uma região com característica plana e tendo uma declividade de 18 metros em 9 km.

Em relação à Condição Favorável em Relação à de Área a ser alagada, a região 14 foi classificada como BAIXA, ou seja, alagaria uma área significativa, com a presença da cidade de Araçuaí no trecho analisado, com topografia plana e declividade de 3 metros para 7,5 km.

Em relação à Condição Favorável em Relação à de Área a ser alagada, a região 15 foi classificada como BAIXA, ou seja, alagaria uma área de tamanho significativo, sendo uma região plana de declividade de 14 metros em 5,5 km. Além disso, há a presença do povoado de São João Grande, no início do trecho analisado, e da cidade de Ponte dos Volantes, no fim do trecho analisado.

Em relação à Condição Favorável em Relação à de Área a ser alagada, a região 16 e 17 foram classificadas como BAIXA, ou seja, alagariam áreas de tamanho significativo, sendo uma região plana de declividade de 16 metros em 4,5 km e 5 metros em 4,2 km.

Em relação à Condição Favorável em Relação à de Área a ser alagada, a região 18, 19, 20 e 21 foram classificadas como BAIXA, ou seja, alagariam uma área de tamanho significativo, sendo regiões planas de declividade de 6 metros em 9,8 km; 4 metros em 8,7 km; 10 metros em 10 km e 5 metros em 10 km respectivamente. São regiões situadas ao rio Jequitinhonha, mais próximas a sua foz, dessa forma, apresentam baixa variação na altitude do terreno como mostra no Mapa 6 já mencionado. Quanto mais próximo da foz, mais plano tende a ser o terreno. Essas regiões apresentam uma alta vazão, sendo o ideal para implantação de sistemas hidrelétricos a fio d'água. Todavia, a região 20 tem a presença da Reserva Biológica da Mata Escura, uma unidade de conservação natural que impede a implantação de um empreendimento hidroelétrico.

Na região 22, não é possível a implantação de uma PCH uma vez que já possui a usina hidroelétrica de Itapebi no trecho analisado.

Mediante as análises e considerações realizadas, as regiões 5, 6, 11 e 12 são as regiões com características mais propícias à implantação de uma PCH. Considerando os parâmetros de vazão disponível e Condição Favorável em Relação à de Área a ser alagada, essas quatro regiões são as consideradas de melhor potencial hidroelétrico. A região 1, embora apresente dado de vazão baixo, é uma região que vale a pena ser analisada, mediante sua conformidade topográfica.

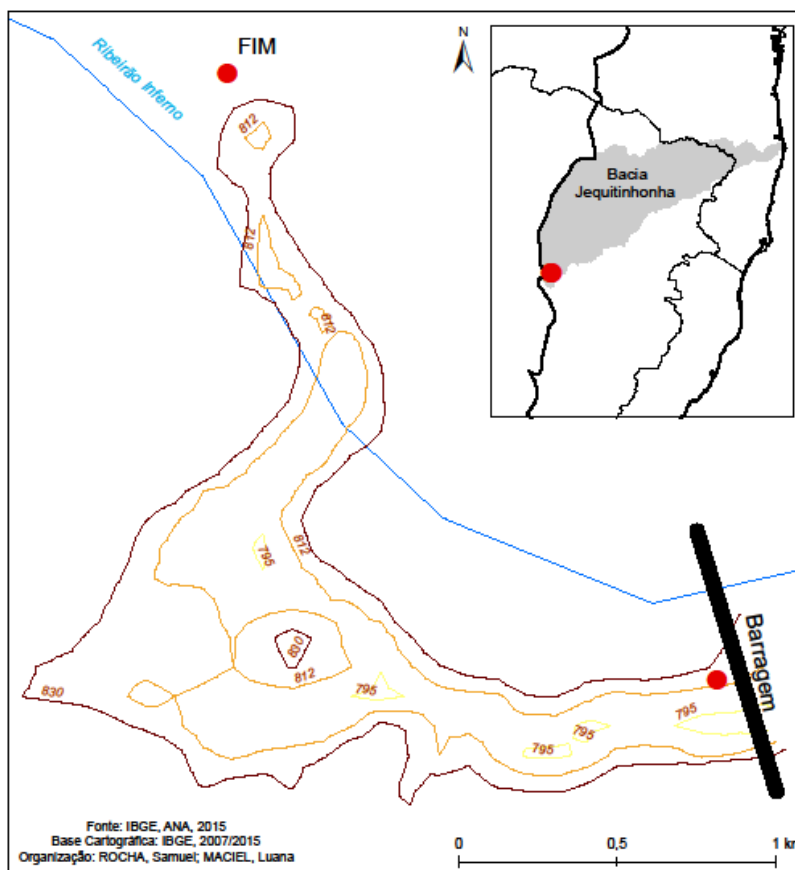
Vale ressaltar que o critério de escolha das regiões é a vazão disponível e a Condição Favorável em Relação à de Área a ser alagada. As regiões 4, 18, 19, 20 e 21, embora apresentem média e altas vazões, não possuem Condição Favorável em Relação à de Área a ser alagada, sendo o ideal, sistemas a fio d'água ou uma CGH nessas localidades.

Verificação das áreas de potenciais localizações para implantação de uma PCH

Definida as quatro áreas que possam ter os maiores potenciais hidroelétricos, mais a área 1, pelas suas características topográficas, foi analisado e verificado os reservatórios de cada uma delas, para assim, comparar qual apresenta melhores resultados. Dessa forma, foi realizada uma análise topográfica do terreno em cotas, mostrando o reservatório nas dimensões analisadas, com as curvas de nível. Demonstrando como será o reservatório e qual a área alagável, a região 1 está representada no Mapa 1 abaixo.

Mapa 1 - Curvas de Nível do Reservatório da Região 1

Topografia região 1 - Curvas de Nível

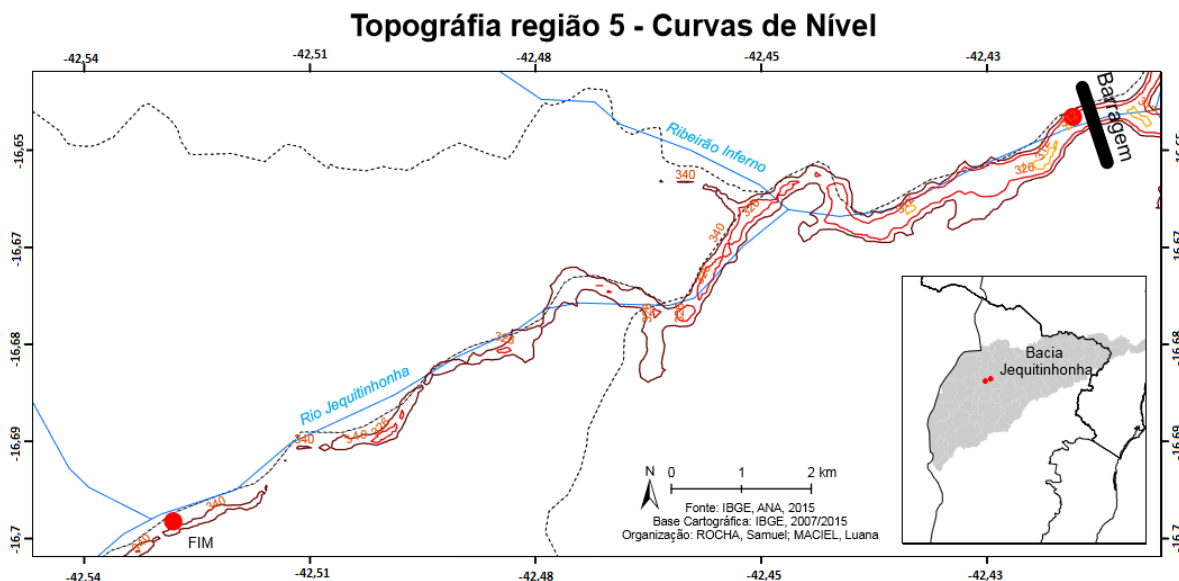


Fonte: Elaboração própria - 2018

A região 1 foi analisada, embora não apresente vazão para a implantação de uma PCH, pois apresenta um reservatório significativamente viável para a implantação de um aproveitamento hidroelétrico, assim, é propícia para a implantação de uma Central Geradora Hidroelétrica (CGH), sendo efetuada sua análise de três cotas, com curvas de nível em 795 m, 812 m e 830 metros de altitude. A cota a 795 metros de altitude apresenta área considerada insignificante, pois representa a base da barragem. A cota a 812 metros de altitude apresenta uma área aproximada de 0,6 km². Já a cota a 830 metros de altitude apresenta a área alagável total aproximada de 1,25 km².

A região 5 está representada no Mapa 2 abaixo.

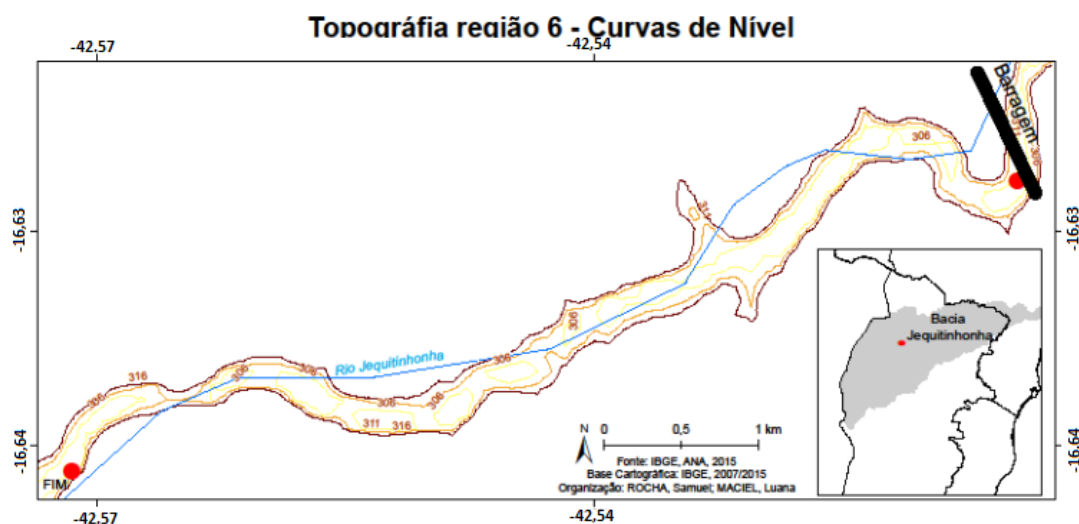
Mapa 2 - Curvas de Nível do Reservatório da Região 5



A região 5 foi analisada apresentando um reservatório e condições propícias a uma PCH, sendo efetuada sua análise em três cotas, com curvas de nível em 312 metros de altitude, 326 metros de altitude e 340 metros de altitude. Verificando pelo mapa que o reservatório da região 6 acaba 3 km antes no trecho analisado inicialmente. A cota a 312 metros de altitude apresenta área considerada insignificante pois representa a base da barragem. A cota a 326 metros de altitude apresenta uma área aproximada de 1,1 km². Já a cota a 340 metros de altitude apresenta a área aproximada total alagável de 3,6 km².

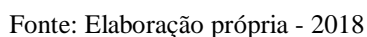
A região 6 está representada inicialmente no Mapa 3 abaixo.

Mapa 3 - Curvas de Nível Iniciais do Reservatório da Região 6



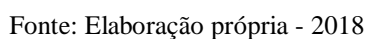
Analisando o mapa da região 6, verifica-se que as cotas analisadas, 306 metros, 311 metros e 316 metros não são as ideais. Dessa forma, foi refeita a análise com novas cotas a 305 metros, 308 metros e 311 metros. A região 6 está representada no Mapa 4 abaixo.

Topografia região 6 - Curvas de Nível



A região 11 está representada no Mapa 5 abaixo.

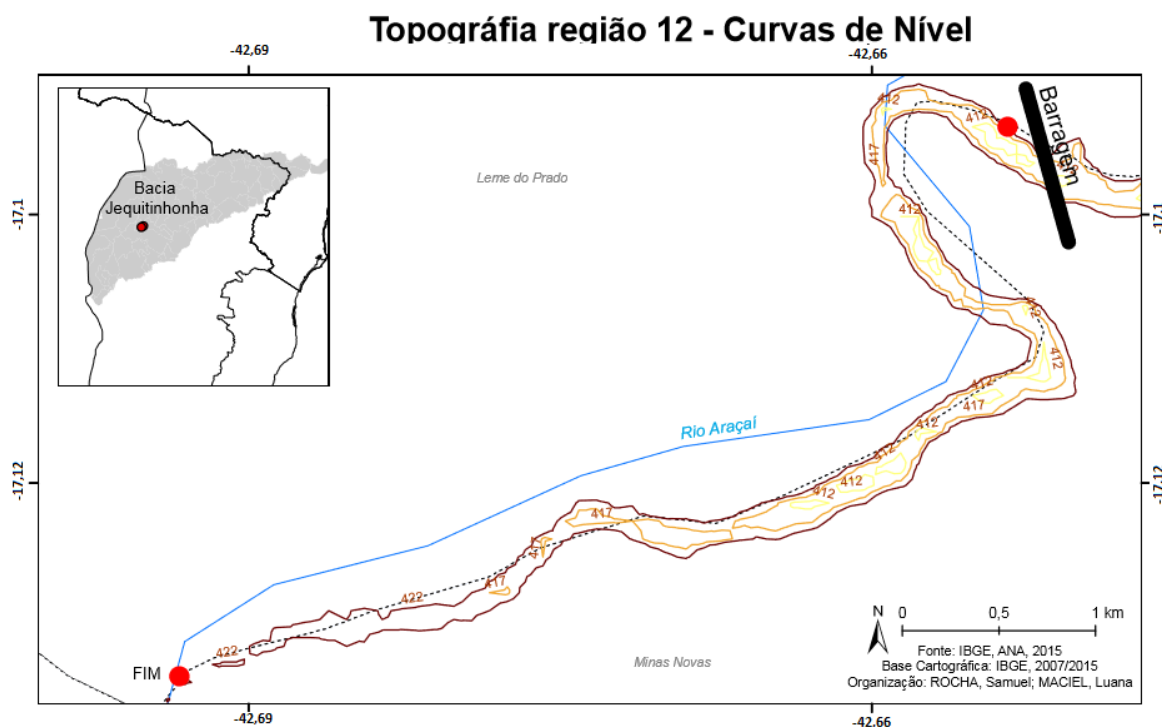
Topografia região 11 - Curvas de Nível



A região 11 foi analisada apresentando um reservatório e condições propícias a uma PCH, sendo efetuada sua análise em três cotas, com curvas de nível em 465 metros de altitude, 480 metros de altitude e 494 metros de altitude, verificando, pelo mapa, que o reservatório da região 11 acaba 0,3 km depois no trecho analisado inicialmente. A cota a 465 metros de altitude apresenta área considerada insignificante, pois representa a base da barragem. A cota a 480 metros de altitude apresenta uma área aproximada de 0,45 km². Já a cota a 494 metros de altitude apresenta a área alagável total aproximada de 1,4 km².

Por último, a região 12 está representada no Mapa 6 abaixo.

Mapa 6 - Curvas de Nível do Reservatório da Região 12



Fonte: Elaboração própria - 2018

A região 12 foi analisada apresentando um reservatório e condições propícias a uma PCH, sendo efetuada sua análise em três cotas, com curvas de nível em 412 metros de altitude, 417 metros de altitude e 422 metros de altitude, verificando, pelo mapa, que o reservatório da região 12 acaba 3 km antes no trecho analisado inicialmente. A cota a 412 metros de altitude apresenta área considerada insignificante, pois representa a base da barragem. A cota a 417 metros de altitude apresenta uma área aproximada de 0,35 km². Já a cota a 422 metros de altitude apresenta a área alagável total aproximada de 0,95 km².

Definição dos Locais e Verificação do Potencial de Geração Hidroelétrica

Perante a análise da topográfica de cada uma das cinco regiões determinadas, verificou-se que a região 6 apresentou uma análise inicial quanto a variação das cotas de nível e quanto ao tamanho do reservatório errônea. Portanto, foi necessária a mudança da altura de coluna d'água de 10 metros para 5 metros, mediante verificação da topográfica. Essa mudança interfere no potencial de energia gerada.

Consideraram-se, para a elaboração da Tabela 2 abaixo, os dados de vazões das cinco regiões, região 1, 5, 6, 11 e 12, e os dados de aturada da coluna d'água a ser formada, além da adoção do valor padrão de densidade da água a 25°C de 997,05 kg/m³ e uma eficiência média da turbina de 93%.

Tabela 2 - Potencial de Geração das Áreas

Região	Vazão (m³/s)	Queda (m)	Potência (kW)
1	5,9	35	1.877,8
5	19,57	28	4.982,7
6	21,91	5	996,2
11	12,69	29	3.346,4
12	15,04	10	1.367,6

Fonte: Elaboração própria – 2018

Analisando a Tabela 2, verifica-se que a região 6 apresenta um potencial de geração muito baixo para os níveis de uma PCH, necessitando de área de alagamento significativamente superior a analisada e de queda d'água para ser enquadrada como PCH, sendo essa região descartada para futuras análises. A região 1 só foi analisada pelas suas características topográficas, por apresentar ótima conformidade a implantação de um reservatório, porém ela apresenta um potencial de geração inferior ao necessário para uma PCH, sendo assim, possível ser usada para a implantação de uma CGH para abastecimento de pequenas cargas.

A região 12 tem um potencial de geração inferior ao necessário para uma PCH, potencial até mesmo inferior que a região 1 que tem metade da vazão da região 12. Embora a região 12 apresente uma vazão considerada média, que é propícia para usos hidrelétricos, o trecho analisado encontra-se entre dois obstáculos artificiais: de um lado, uma ponte, e do outro, vias de acesso. Tal fato se tornaria um problema quando se considera a possibilidade de expansão do reservatório analisado, pois resultaria no alagamento destes obstáculos artificiais. Todavia, na região poderia ser implantada uma CGH para o abastecimento de pequenas cargas.

Já as regiões 5 e 11, apresentam um potencial de geração satisfatórios e adequados aos de uma PCH. Para essas regiões, serão analisadas suas relações de geração versus alagamento para verificar qual a melhor opção.

Dessa forma, as regiões, quanto ao potencial de geração, são citadas em ordem decrescentes, sendo a região 5 em primeiro lugar com maior potencial de geração de 4.982,7 kW, a região 11 em segundo lugar com potencial de 3.346,4 kW, a região 1 em terceiro lugar com 1.877,8 kW, a região 12 em quarto lugar com 1.367,6 kW gerados e a região 6 por último com 996,2 kW gerados. As regiões 1, 6 e 12 não atendem aos requisitos de geração para PCHs, sendo elas desconsideradas. Porém, as regiões 1 e 12 serão analisadas somente com fins didáticos para verificar seu potencial como CGH.

Análise da Potência versus Área Inundada

A partir da análise das 4 regiões escolhidas com potenciais significativos, sendo elas as regiões 1, 5, 11 e 12, foi calculado o índice de potência por área inundada em kW/km². Esse índice auxilia a verificação da área de maior potencial tanto energético quanto topográfico, gerando menores impactos negativos. É um índice para indicar qual a eficiência de uso da área. Logo, foram analisados os potenciais energéticos e os potenciais topográficos de cada região e mostrados na Tabela 3 abaixo, juntamente com o índice de potência por área inundada.

Tabela 3 - Potenciais Energéticos, Potenciais Topográficos e Índice de Potência por Área Inundada de Cada Região Estudada

Região	Potência (kW)	Área inundada (km ²)	Índice de potência/área inundada (kW/km ²)
1	1.877,8	1,25	1502,2
5	4.982,7	3,6	1384,1
11	3.346,4	1,4	2390,3
12	1.367,6	0,95	1439,6

Fonte: Elaboração própria - 2018

Ao analisar a tabela acima, é possível verificar que as regiões 5 e 11 apresentam um maior potencial socioeconômico devido a apresentarem os maiores valores de potências a serem instaladas, garantindo um maior abastecimento energético e gerando maiores lucros com a venda de energia. Dessa forma, contribui tanto no âmbito social com garantia de energia a população, como no âmbito econômico com o retorno financeiro.

Por outro lado, as regiões 1 e 12 apresentam os maiores potenciais ambientais, devido a presença de menores áreas inundadas. Portanto, quanto menor a área a ser inundada, menor será seu impacto ambiental negativo, sendo benéfico do ponto de vista ambiental.

Contudo, são necessárias áreas que apresentem maiores potenciais socioeconômicos e potenciais ambientais. A relação dos dois é representada pelo índice de potência por área inundada (kW/km²). Analisando o todo, entre as 4 áreas citadas na Tabela 3, a região 11 apresenta o maior índice, correspondente a 2390,3 kW/km², sendo, portanto, a região de maior potencial e a melhor região para implantação de um empreendimento do tipo hidroelétrico, com uma maior viabilidade. Em seguida tem-se as regiões 1 com índice de 1502,2 kW/km², a região 12 com índice de 1439,6 kW/km² e por último a região 5 com índice de 1384,1 kW/km², sendo a região menos viável.

Quanto à viabilidade de implantação de empreendimento do tipo PCH, são duas as regiões possíveis: as regiões 5 e 11. Dentre as duas, a região 11 possui o maior índice de potência por área inundada, com valor equivalente de 2390,3 kW/km². Além disso, essa região possui uma viabilidade maior para se implantar uma PCH, sendo a região a ser escolhida. Em segundo lugar se tem a região 5 com índice de 1384,1 kW/km², quase metade do valor do índice da região 11, portanto, a região 5 pode ser considerada em um segundo plano, ou em caso de impossibilidade, por motivos externos, de escolha da região 11.

Contudo, a potência instalada da região 11 é de 3.346,4 kW, enquanto na região 5 de 4.982,7 kW, um valor inferior, logo, embora a região 5 apresente o maior potencial de geração de energia, não possui a mesma viabilidade de implantação que a região 11.

Quanto à viabilidade de implantação de empreendimento do tipo CGH, são duas as regiões possíveis: as regiões 1 e 12. Dentre as duas, a região 1 possui o maior índice de potência por área inundada, com valor equivalente de 1502,2 kW/km². Além disso, essa região possui uma viabilidade maior para se implantar uma PCH, sendo a região a ser escolhida. Em segundo lugar se tem a região 12 com índice de 1439,6 kW/km², podendo ser considerada em um segundo plano, ou em caso de impossibilidade, por motivos externos, de escolha da região 1.

No entanto, a diferença entre o índice da região 1 e 12 é mínima, o que exige para escolha da região, uma análise da potência instalada. Dessa forma, a região 1 apresenta a maior potência instalada quando comparada a região 12, sendo a região 1 escolhida para implantação de empreendimentos hidrelétricos do tipo CGHs.

CONCLUSÕES

O estudo de viabilidade de uma região para a implantação de uma PCH necessita de uma análise profunda das características hídricas e topográficas, sendo necessárias a presença de vazões de permanência que justifiquem o empreendimento e uma situação de relevo que minimize a área de alagamento dos reservatórios ao mesmo tempo que se assegure geração de energia significativa.

A região da bacia hidrográfica do rio Jequitinhonha, apresenta uma área de 70.315 km², que ainda é pouco explorada em relação ao uso para fins hidroelétricos, com 3 usinas hidroelétricas e aproximadamente 6 usinas PCHs. Essa área apresenta um potencial significativo para uso hidroelétrico, com possibilidade de implantações de um número significativo de PCHs. Essas PCHs apresentam menores impactos ambientais, em alguns casos esses impactos são quase insignificantes. Além disso, ao serem usadas em conjunto para geração de energia, a soma da energia gerada por essas pequenas usinas resulta um valor significativo quando comparadas a uma usina hidroelétrica de grande porte.

A área da bacia apresenta uma longa extensão com aproximadamente mil km de seu principal rio, o Jequitinhonha, que ao longo da bacia apresenta uma alta variação de declividade, passando de 1.300 metros de altitude no início da bacia para o nível do mar na foz do Jequitinhonha. Portanto, possui condições topográficas propícias para uso e implantação de usinas hidroelétricas.

O estudo realizado apontou 22 regiões que poderiam ser exploradas, verificando que dessas 22, apenas 4 delas tinham um potencial energético e topográfico ideais para uso e implantação de usinas hidroelétricas. Essas 4 regiões apresentam vazões significativas e condições topográficas favoráveis para implantações de usinas. Analisando o todo, entre as 4 áreas citadas na Tabela xxx, a região 11 apresenta o maior índice, correspondente a 2390,3 kW/km², sendo portanto, a região de maior potencial e a melhor região para implantação de um empreendimento do tipo hidroelétrico, com uma maior viabilidade.

Todavia, no estudo realizado, o objetivo foi verificar a região mais favorável à implantação de uma PCH, sendo duas regiões possíveis: as regiões 5 e 11. Dentre as duas, a região 11 possui o maior índice de potência por área inundada, com valor equivalente de 2390,3 kW/km², cerca de 1.006 kW/km² superior a região 5. Portanto, essa região é a mais viável para se implantar uma PCH.

Além disso, com o estudo das regiões, foi possível verificar que a bacia hidrográfica do rio Jequitinhonha, além de apresentar viabilidade de implantação de PCHs, apresenta também a viabilidade de implantação de CGHs, com duas regiões possíveis de serem implantadas: as regiões 1 e 12. Dentre as duas, a região 1 possui o maior índice de potência por área inundada, com valor equivalente de 1502,2 kW/km², seguida pela região 12 com índice de 1439,6 kW/km². Porém essa variação nos índices é insignificante, dessa forma, as duas regiões apresentam viabilidade para implantação de empreendimentos do tipo CGH.

Outro ponto passível de análise é que, embora não se tenha obtido a série histórica de vazão, foram utilizados os dados de vazão Q₉₅, tendo esses dados se mostrado viáveis para análise hidrológica e do potencial energético das regiões. Contudo, esses valores de vazões garantem que a vazão é igual ou superior a eles em 95% do tempo. Dessa forma, as vazões podem ser significativamente superiores aos valores analisados em grande parte do tempo, gerando assim, uma potência instalada superior à calculada. Ou seja, as regiões analisadas podem gerar mais energia do que o previsto. Portanto, as regiões descartadas por baixo potenciais energéticos, ao se analisar a série histórica, podem apresentar um potencial significativo.

Além disso, as regiões de potencial para PCHs podem apresentar um potencial significativamente superior ao verificado ao se analisar a série histórica de vazões. Já as regiões consideradas para CGHs podem se mostrar propícias a implantações de PCHs.

Embora este estudo indique que a região 11 é a de maior viabilidade, mais pesquisas precisam ser realizadas para averiguar os potenciais impactos negativos sobre outros temas ambientais característicos das regiões 5 e 11, para que se possa, com maior segurança, escolher entre uma ou outra. Todavia, das diversas opções existentes, este estudo indica que estes estudos específicos sejam realizados apenas para estas duas regiões. Neste sentido, a metodologia utilizada representa a possibilidade de se realizar os estudos de viabilidade de PCH's em 2 etapas: a primeira, realizada neste trabalho, seleciona locais considerando a vazão disponível e a

Condição Favorável em Relação à de Área a ser alagada, num nível básico. A partir desta primeira fase, passa-se à segunda restrita às áreas selecionadas na primeira que serão objeto de estudos pormenorizados.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG).

Os autores expressam seus agradecimentos à geógrafa Viviane Pascoal que, muito gentilmente, os assessorou na elaboração dos mapas com o uso do software ARCGIS.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AQUIM, Tatiane. **Crise energética**: falta de planejamento ou de chuva. London: Datacenter Dynamics, 22 abr. 2015. Disponível em: <<http://www.datacenterdynamics.com.br/focus/archive/2015/04/crise-energ%C3%A9tica-falta-de-planejamento-ou-de-chuva>>. Acesso em: 02 jul. 2016.
2. BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Pequenas centrais hidrelétricas (PCHs)**. Brasília: ANEEL, 05 jul. 2016. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/aneel-essencial/-/asset_publisher/c4M6OIOMkLad/content/pequenas-centrais-hidreletricas-pchs-?inheritRedirect=false>. Acesso em: 15 jul. 2016.
3. COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS. **Bacia do rio Jequitinhonha**. Belo Horizonte: CEMIG, 2016. Disponível em: <http://www.cemig.com.br/pt-br/A_Cemig_e_o_Futuro/sustentabilidade/nossos_programas/ambientais/peixe_vivo/Paginas/rio_jequitinhoa.aspx>. Acesso em: 17 jul. 2016.