



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS E ESCOLA DE ENGENHARIA
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

MARINA ELISA DA COSTA

**AVALIAÇÃO DA GERAÇÃO DE ENERGIA EM
EMPREENDIMENTOS HIDRELÉTRICOS BRASILEIROS
DE PEQUENO PORTE**

Porto Alegre

Dezembro 2018

MARINA ELISA DA COSTA

**AVALIAÇÃO DA GERAÇÃO DE ENERGIA EM EMPREENDIMENTOS
HIDRELÉTRICOS BRASILEIROS DE PEQUENO PORTE**

Trabalho de Conclusão apresentado ao curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como parte dos requisitos para a obtenção do título de Engenheira Ambiental.

Orientador: Andreas Kindel

Co orientadora: Larissa Donida Biasotto

Porto Alegre

Dezembro 2018

MARINA ELISA DA COSTA

AVALIAÇÃO DA GERAÇÃO DE ENERGIA EM EMPREENDIMENTOS
HIDRELÉTRICOS BRASILEIROS DE PEQUENO PORTE

Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul defendido e aprovado em **12 de dezembro de 2018** pela Comissão avaliadora.

Banca Examinadora:

.....
Andreas Kindel
Doutor em Botânica pela UFRGS
Orientador

.....
Carolina Alves Lemos
Mestre em Ecologia pela UFRGS
Analista Ambiental do IBAMA

.....
Lucas de Fries
Mestre em Ecologia pela UFRGS
Doutorando em Ecologia UFRGS

Conceito: A

CIP - Catalogação na Publicação

da Costa, Marina Elisa
Avaliação da geração de energia em empreendimentos
hidrelétricos brasileiros de pequeno porte / Marina
Elisa da Costa. -- 2018.
31 f.
Orientador: Andreas Kindel.

Coorientadora: Larissa Biasotto.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto
de Pesquisas Hidráulicas, Curso de Engenharia
Ambiental, Porto Alegre, BR-RS, 2018.

1. Centrais de Geração Hidrelétrica (CGH) 1. 2.
Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHS). 3.
Alternativas tecnológicas. 4. Licenciamento ambiental.
I. Kindel, Andreas, orient. II. Biasotto, Larissa,
coorient. III. Título.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus orientadores, Andreas e Larissa, pela disponibilidade, compreensão e auxílio sempre que necessário, e por esse período de trabalho e aprendizado juntos.

Agradeço à minha família, que me proporcionou a oportunidade de cursar Engenharia Ambiental, sempre com amor e apoio incondicional.

Agradeço ao meu namorado, Rafael, pelo suporte e compreensão durante o processo de elaboração deste estudo e pelo incentivo durante todo o curso.

Agradeço meus amigos, incluindo os muitos que fiz durante estes anos de graduação, pelo companheirismo e pelos bons momentos juntos, e pela força principalmente durante as últimas etapas.

Aos membros e ex-membros da Mandala, e à Empresa Júnior em si, que contribuiu muito para meu crescimento pessoal e profissional.

Agradeço aos professores atenciosos e dedicados dos quais tive a honra de ser aluna durante a graduação.

Agradeço antecipadamente aos membros da banca, por aceitarem fazer parte da avaliação do trabalho e do aperfeiçoamento deste estudo.

*You cannot get through a single day without
having an impact on the world around you.
What you do makes a difference and you have
to decide what kind of a difference you want to
make.*

Jane Goodall

RESUMO

Atualmente tem-se observado uma concentração de esforços e recursos na transição da matriz energética mundial para fontes mais sustentáveis. Embora controverso, no Brasil, essa tendência também se manifesta através da ampliação no número de pequenas unidades geradoras de hidroeletricidade. Motivados pela expansão no número de Centrais Geradoras de Hidroeletricidade (CGHs) e Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs), buscamos analisar aspectos referentes ao impacto de geração de energia destes empreendimentos e ao licenciamento ambiental dos mesmos. Analisamos a geração de energia de 21 CGHs e 42 PCHs localizadas no estado do Rio Grande do Sul (RS) através dos parâmetros de capacidade instalada, garantia física de MW médio e geração de energia efetiva mensal. Avaliamos também estudos ambientais brasileiros referentes ao licenciamento de 14 empreendimentos hidrelétricos de pequeno porte (EIA/RIMAs - Estudos de Impacto Ambiental/Relatórios de Impacto Ambiental e RAS - Relatórios Ambientais Simplificados) buscando identificar a presença ou não de informações de capacidade instalada e estimativa de geração. Nestes documentos também analisamos o nível de abrangência da avaliação relativa às alternativas tecnológicas específicas a outras modalidades de geração da mesma energia efetiva que as PCHs ou CGHs. Verificamos que a geração efetiva de energia das usinas do RS encontra-se muito abaixo da capacidade instalada das mesmas, com fator de capacidade na faixa dos 50%. A razão média entre a geração efetiva e a garantia física de MW médio ficou abaixo de 100%, indicando que as usinas não estão fornecendo ao sistema a parcela de energia atribuída a elas. Dos estudos brasileiros analisados, 38% dos RIMAs não apresentaram a informação de estimativa de geração que estava presente em seu respectivo EIA. Quanto às alternativas tecnológicas, mais da metade dos documentos não apresentou nenhuma análise de alternativas tecnológicas em relação ao tipo de geração. Identificamos que a garantia física do MW médio, informação que poderia melhor representar o impacto positivo de um empreendimento hidrelétrico, é superdimensionada, e nem sempre está presente no RIMA (instrumento de comunicação com a população). A comparação com outros tipos de geração de energia em alguns dos documentos sustenta a interpretação de que ela é necessária, porém sua avaliação é frequentemente ausente ou pouco abrangente. Nossos resultados demonstraram que, no mínimo, os estudos necessitam de aperfeiçoamentos para atenderem satisfatoriamente as diretrizes e resoluções do licenciamento ambiental dessas infraestruturas.

Palavras-chaves: Centrais de Geração Hidrelétrica (CGH); Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHS); alternativas tecnológicas; licenciamento ambiental.

ABSTRACT

In recent years it has been observed a concentration of efforts and resources to promote the transition of the global energy system to more sustainable sources. Although controversial in Brazil, this trend can be perceived by the increase in the number of small-hydro power (SHP) units. Motivated by the expansion in the number of these units, we sought to analyze aspects related to the energy generation impact of these projects and their environmental licensing. We analyzed the power generation of 63 SHP plants located in the state of Rio Grande do Sul (RS), through the parameters of installed capacity, energy generation estimate and actual monthly energy generation. We evaluated Brazilian environmental studies (EIS - Environmental Impact Statement and their summaries, as well as other simplified studies) regarding the licensing of 14 small hydroelectric projects in Brazil, to identify the presence of information about installed capacity and energy generation estimates. In these documents we have also analyzed the level of comprehensiveness of the evaluation regarding the specific technological alternatives to other modalities that could generate the same amount of energy as the SHP units. We verified that the effective energy generation from the power plants in our state is well below their installed capacity, with a capacity factor near 50%. The average ratio between the actual mean energy generation and the minimum contracted energy was below 100%, indicating that the power plants are not supplying the system with the expected energy allocation. Of the analyzed studies, 38% of the Summary EIS (document used to communicate with the population) did not present the energy generation estimate presented in their respective EIS. As for the technological alternatives, more than half of the documents did not present any analysis of alternatives regarding the other type of generation. We identified that the energy generation estimate, information that could best represent the positive impact of a hydroelectric project, is overestimated, and is not always present in the Summary EIS. The presence of comparison with other types of energy generation in some of the documents supports the interpretation that it is mandatory, but its evaluation is often absent or not very comprehensive. Our results demonstrated that, at least, the environmental statements and their summaries need improvement in order to satisfactorily comply with the guidelines and resolutions for the environmental licensing of these infrastructures.

Keywords: Small-Hydro Power (SHP); technological alternatives; environmental licensing.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. MÉTODOS	3
3. RESULTADOS	5
3.1. Análise da geração efetiva.....	5
3.2. Análise dos estudos ambientais	9
4. DISCUSSÃO	10
REFERÊNCIAS	12

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localização das CGHs e PCHs do Rio Grande do Sul utilizadas para a análise de energia gerada (efetiva), capacidade instalada e garantia física de MW médio..	4
Figura 2. Relação entre capacidade instalada e geração efetiva média das CGHs e PCHs.	6
Figura 3. Relação entre capacidade instalada e fator de capacidade das CGHs e PCHs.	7
Figura 4. Relação entre o fator de capacidade médio e o coeficiente de variação mensal de cada usina.	8
Figura 5. Relação entre garantia física média e geração efetiva média das CGHs e das PCHs.	9
Figura 6. Nível de abrangência da análise de alternativas tecnológicas à geração hidrelétrica nos estudos de impacto ambiental (EIA e RAS) nas unidades geradoras avaliadas.	10

ÍNDICE DE MATERIAL SUPLEMENTAR

Tabela MS 1 – Pequenas unidades geradoras de hidroeletricidade analisadas..... 17

Tabela MS 2– Lista de empreendimentos com estudos analisados..... 21

1. INTRODUÇÃO

A transição da matriz energética mundial para fontes mais sustentáveis vem sendo alvo de inúmeros estudos [1–3] e consideráveis investimentos [4], impulsionada tanto pelo crescimento populacional e de consumo de energia per capita [5] quanto pela necessidade de reduzir o consumo de combustíveis fósseis [6]. No Brasil, essa tendência se manifesta, também, por meio da ampliação no número de pequenas unidades geradoras de hidreletricidade, representadas pelas Centrais Geradoras de Hidreletricidade (CGHs) e Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs). Segundo dados obtidos no Banco de Informações de Geração (BIG) da Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL (2018) [7], no período de 2000 a 2017 a capacidade instalada das CGHs e PCHs no Brasil aumentou em mais de seis vezes.

Essa expansão é resultado da combinação do grande potencial hidrelétrico disponível para empreendimentos de menor capacidade, juntamente com a implantação de políticas que proporcionam benefícios, incentivos e flexibilizações para tornar as PCHs mais atrativas do ponto de vista econômico [8]. A previsão para o sistema energético no Brasil é a adição de 3.255MW de geração a partir dessas pequenas unidades geradoras até o ano de 2027 [9]. Segundo a resolução normativa nº 673 da ANEEL [10], são consideradas PCHs empreendimentos com capacidade instalada superior a 3MW, igual ou inferior a 30mW e área de reservatório de até 13 km². Já as CGHs são frequentemente classificadas como usinas com capacidade menor que 1MW. De acordo com o BIG [7], estão em operação 693 CGHs em todo o território brasileiro, com uma capacidade instalada de aproximadamente 690 MW, e 427 PCHs, com capacidade de 5.130 MW; juntas, correspondem a 3,62% da capacidade de geração de energia elétrica instalada no Brasil.

Embora a energia hidrelétrica seja considerada por muitos uma fonte de energia renovável ou de “energia limpa”, existem controvérsias a respeito da aplicação deste termo [8]. As centrais de geração hidrelétrica de menor porte frequentemente são vistas como uma alternativa de menor impacto em relação às Usinas Hidrelétricas (UHEs), porém, os impactos gerados pelo grande número de CGHs e PCHs, comparando sua magnitude e relevância por kW gerado, não são menores que os de grandes hidrelétricas [11]. Adicionalmente, essa percepção equivocada se deve ao fato dos impactos negativos serem, de certa forma, proporcionais ao tamanho do empreendimento, portanto em empreendimentos menores os impactos parecem pouco relevantes, se não for considerado o efeito cumulativo dos mesmos [12].

Alguns dos principais impactos ambientais decorrentes da instalação e operação de pequenas usinas são incidentes sobre a ictiofauna [13,14], principalmente sobre espécies endêmicas, devido ao desaparecimento de áreas de uso para alimentação e reprodução, podendo afetar também a espécies migratórias devido à obstrução causada pelo sistema no curso d'água. A construção de reservatórios pode afetar também macrófitas e perífiton, entre outros, alterando a estrutura da comunidade, a produtividade e a diversidade dos ecossistemas ribeirinhos [15], além da fauna e flora terrícola nas áreas de alagamento [16] e à jusante dos reservatórios [17]. No meio físico, a implantação de hidrelétricas e de seus reservatórios pode ocasionar a alteração na qualidade da água [18,19], no regime hidrológico [20], nos mecanismos de erosão e transporte de sedimentos [21] e na emissão de gases de efeito estufa [22]. No meio socioeconômico podem ser citados como impactos frequentes a remoção de populações ribeirinhas e indígenas [23] e mudanças na paisagem [24].

A geração da energia é o impacto positivo mais óbvio das usinas, e assim como para todos os demais impactos positivos e negativos, sua magnitude deve ser prognosticada e, no caso de a operação ser autorizada, também deveria ser monitorada [25]. Sem ter certeza do impacto positivo que será obtido, não é possível a comparação com os impactos negativos esperados. Além disso, isso dificulta a prévia identificação se o empreendimento poderá ou não ser instalado de forma a trazer bônus, não somente ao empreendedor como também à sociedade, condizente com o ônus ambiental. Previamente à operação do empreendimento, a energia a ser gerada pode ser estimada através da Garantia Física do MW Médio, que corresponde à quantidade de energia elétrica associada ao empreendimento, ou seja, qual parcela da demanda por energia no sistema será atendida pela usina. O cálculo deste valor é realizado pelo Ministério de Minas e Energia, conforme Decreto nº 5.163 de 30 de julho de 2004 [26].

No Brasil o licenciamento ambiental das unidades geradoras de hidreletricidade é obrigatório, sendo definidas diretrizes em âmbito nacional para o processo através das Resoluções CONAMA nº 01/1986 [25], nº 237/1997 [27], e nº 279/2001 [28]. Como o licenciamento dessas infraestruturas é de responsabilidade dos estados, seus órgãos de gestão ambiental estabelecem critérios e diretrizes mais detalhados, como por exemplo a Portaria FEPAM nº 039/2017 [29] no Rio Grande do Sul. No entanto, desconhecemos qualquer exemplo de programa de monitoramento implantado no Brasil que tenha incluído também impactos positivos, o que poderia informar o processo decisório de empreendimentos em licenciamento sobre a validade dos prognósticos dos impactos positivos. A auditoria dos impactos positivos e negativos após a implantação dos empreendimentos, por meio de critérios para a avaliação de performance que

possam ser medidos e analisados claramente, é importante também para verificar eventuais tendências de superestimar ou subestimar os impactos [31], e para o aprimoramento do processo de licenciamento de empreendimentos futuros [32].

Outro aspecto frequentemente abordado de maneira limitada nos estudos anteriores à emissão das licenças é a avaliação de alternativas tecnológicas disponíveis [33]. A rigor, independente do instrumento de avaliação ambiental adotado - Estudo de Impacto Ambiental (EIA-RIMA) [25] ou Relatório Ambiental Simplificado (RAS) [28] - a avaliação de alternativas tecnológicas não deveria restringir-se apenas a outras tecnologias para aquele tipo de empreendimento e sim, também, a outros tipos de empreendimentos para produzir aquela mesma quantidade de energia bem como a não execução da obra.

Com base no contexto acima e nas deficiências indicadas na literatura no processo de licenciamento ambiental de empreendimentos de geração de hidreletricidade com pequeno porte, nosso primeiro objetivo foi avaliar a geração efetiva de energia de CGHs e PCHs para o estado do Rio Grande do Sul. Inicialmente comparamos a energia efetiva gerada em cada tipo de unidade geradora tanto com a capacidade instalada como com a garantia física de MW médio, e em que medida o fator de capacidade (energia efetiva/capacidade instalada) está relacionada com a capacidade instalada. Nosso segundo objetivo foi avaliar se essas informações de geração de energia foram apresentadas nos estudos (EIA-RIMA ou RAS) anteriores às licenças ambientais de empreendimentos brasileiros de CGHs e PCHs e, além disso, avaliamos como as alternativas tecnológicas, referentes a outras modalidades de geração da mesma quantidade de energia, foram abordadas nestes documentos.

2. MÉTODOS

A partir da consulta na base de dados pública da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica [34], analisamos informações de 21 CGHs e 42 PCHs implantadas no estado do Rio Grande do Sul (Figura 1; tabela MS1). É importante esclarecer que adotamos a categoria indicada na base de dados consultada mesmo quando a capacidade instalada estava abaixo ou acima do limiar de inclusão definido pela ANEEL para categorizar PCHs e CGHs. Estas usinas foram selecionadas com base na disponibilidade da informação de geração efetiva nos relatórios de InfoMercado (CCEE, 2018) para o período entre janeiro de 2015 e dezembro de 2017 e correspondem a 58,8% das usinas em operação no RS [7].

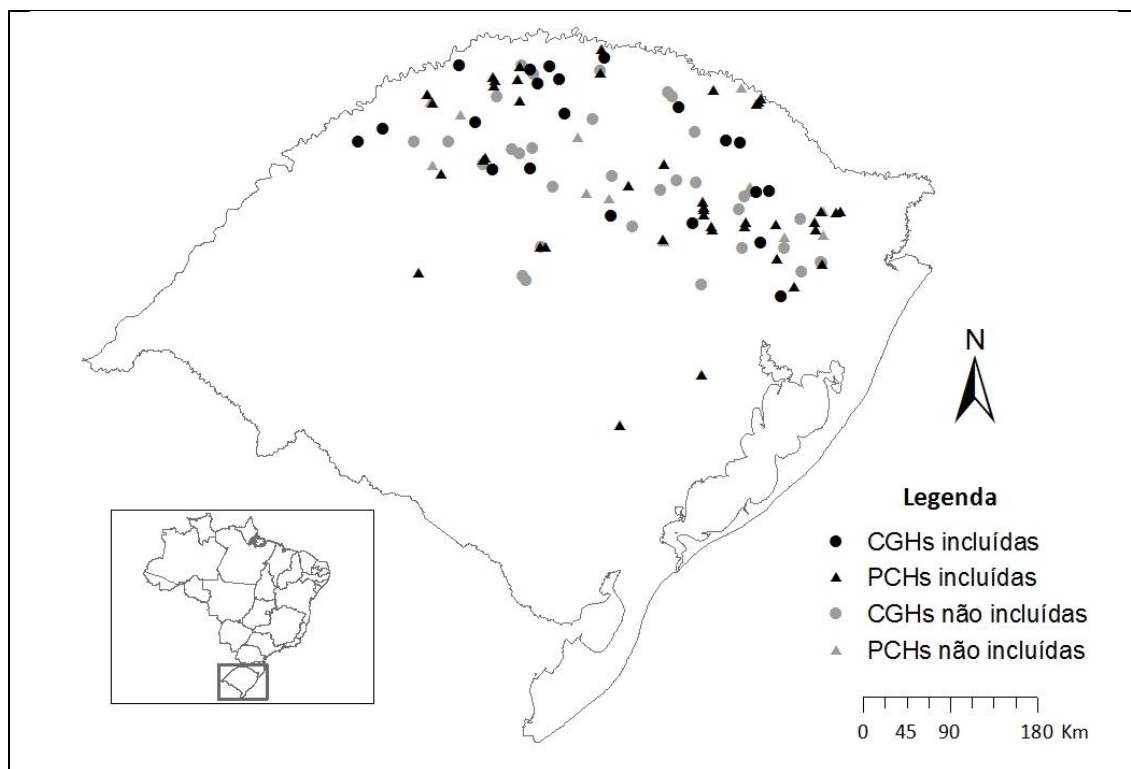


Figura 1. Localização das CGHs e PCHs em operação no Rio Grande do Sul, com indicação das usinas incluídas na análise. Fonte dos dados: Sistema de Informações Geográficas do Setor Elétrico (SIGEL) – ANEEL [35].

Dos relatórios InfoMercado dessa base de dados extraímos a capacidade instalada e garantia física de MW de cada usina, juntamente com a geração efetiva mensal no “centro de gravidade” (ponto virtual onde produção e consumo de energia se igualam). A partir dos dados da geração efetiva mensal, calculamos a geração efetiva média de cada empreendimento. A razão entre a geração efetiva média e a capacidade instalada da usina foi definida como “fator de capacidade” da usina, e a razão entre a geração efetiva média e a garantia física de MW médio foi definida como “eficácia”. Adicionalmente calculamos o coeficiente de variação da geração mensal de cada usina. Para avaliarmos a associação entre algumas dessas medidas de geração de energia utilizamos análises de regressão simples.

Para a obtenção de estudos ambientais utilizados no licenciamento de CGHs e PCHs do Brasil, primeiramente, realizamos consulta à página do IBAMA e dos órgãos ambientais estaduais das regiões Sul, Sudeste e Centro-oeste, especificamente nas seções de licenciamento ambiental, com busca por EIA-RIMAs e RAS de usinas datados a partir do ano de 2010. Um ponto a ser ressaltado é a dificuldade, em geral, de acesso online aos documentos nos sites dos órgãos ambientais, o que levou à definição de maior abrangência na área de estudo (inicialmente, havia sido definida como só o estado do RS). Como esta primeira pesquisa não resultou em um número considerado

satisfatório de estudos (n= 10), complementamos a busca através do Google, utilizando as palavras-chave “EIA CGH”, “EIA/RIMA CGH”, “EIA PCH”, “EIA/RIMA PCH”, “licenciamento ambiental CGH” e “licenciamento ambiental PCH”. Nos dois protocolos de busca selecionamos apenas os estudos dos empreendimentos que disponibilizaram a documentação completa, incluindo todos os volumes do estudo (EIA-RIMA ou RAS), totalizando 14 empreendimentos, sendo oito com EIA-RIMA e seis com RAS (Tabela MS2).

Consultamos nos estudos as seções de caracterização do empreendimento e de alternativas tecnológicas, buscando as seguintes informações: capacidade instalada, média anual de produção de energia estimada e quais foram as alternativas tecnológicas analisadas. No caso da não identificação das informações procuradas nestas seções específicas, realizamos uma busca por palavras-chave no documento como um todo e, quando não encontrada a informação por nenhum dos dois métodos, consideramos a informação como ausente no estudo.

Para o caso específico da apresentação de alternativas tecnológicas que contemplam outras modalidades de geração, realizamos uma segunda análise, buscando verificar o nível de abrangência dessa informação: quantitativo (comparando o valor de um ou mais componentes entre as alternativas, sendo neste caso especificado o componente comparado), qualitativo (comparando componentes, como possíveis impactos, de forma descritiva, porém sem comparação de intensidade), mera citação (caso não tenha sido feita nenhuma forma de comparação entre as alternativas, apenas referência às mesmas) ou ainda ausente (o documento sequer cita outras alternativas).

3. RESULTADOS

3.1. Análise da geração efetiva

Os resultados demonstram que há uma relação direta e positiva entre a geração efetiva média e a capacidade instalada; contudo, para as CGHs, para um mesmo nível de capacidade instalada, a geração efetiva é consideravelmente mais variável (Figura 2A e 2B). A geração efetiva de energia das usinas encontra-se muito abaixo da capacidade instalada das mesmas, próxima à faixa dos 50%.

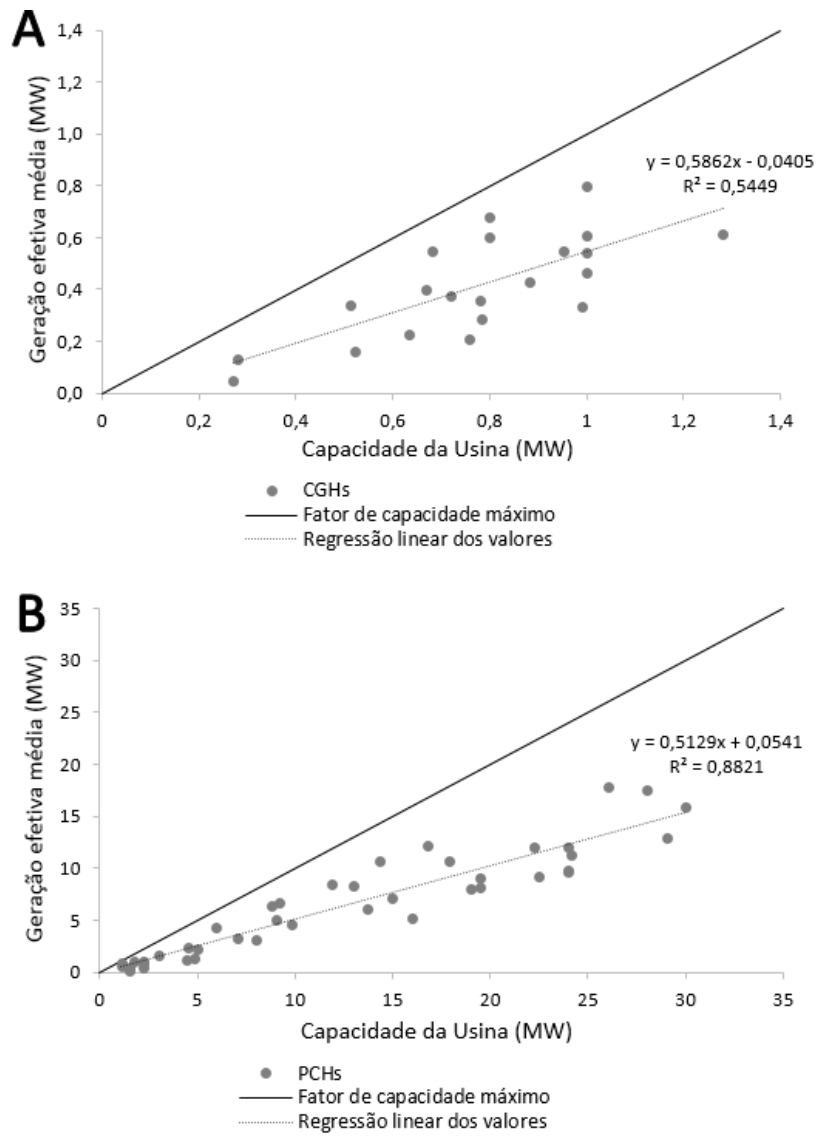


Figura 2. Relação entre capacidade instalada e geração efetiva média das CGHs (A); e PCHs (B).

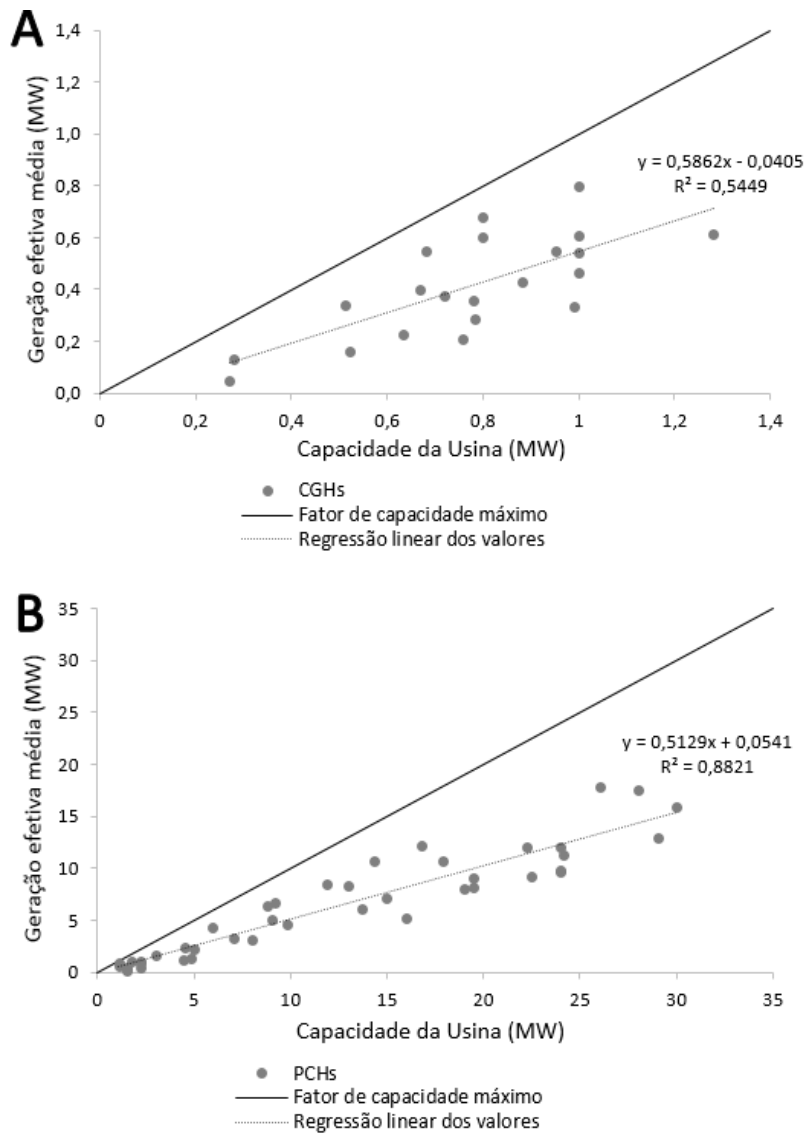


Figura 3. Relação entre capacidade instalada e fator de capacidade das CGHs (A) e PCHs (B).

O fator de capacidade médio em CGHs variou de 19 a 85% com média de $52 \pm 18\%$, enquanto que nas PCHs este fator variou de 13 a 84 (média $50 \pm 16\%$), não estando relacionada com a capacidade instalada em nenhuma das duas tipologias (Figura 3A e 3B).

Ao analisar a relação entre o fator de capacidade das usinas e o coeficiente de variação temporal da energia gerada, percebemos que usinas com maior coeficiente de variação (CV) na geração efetiva média ao longo do período de 3 anos considerado, tem fator de capacidade menor (Figura 4).

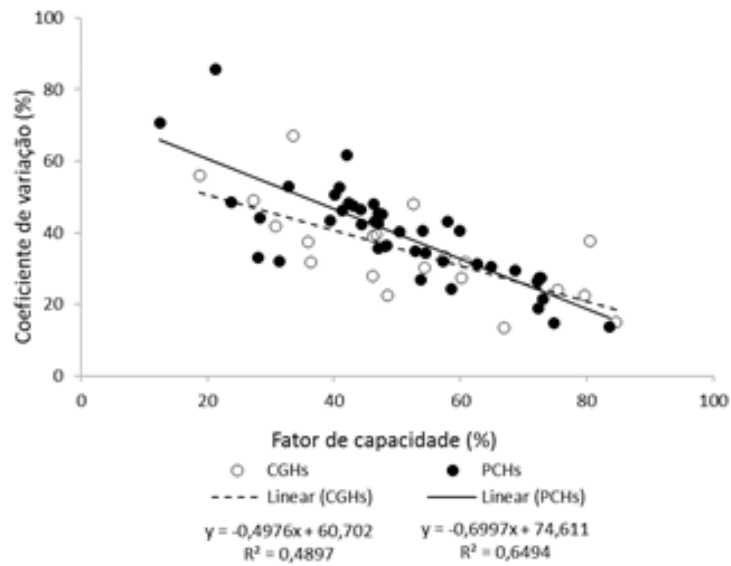


Figura 4. Relação entre o fator de capacidade médio e o coeficiente de variação mensal de cada usina.

A relação entre a garantia física de MW médio e a geração efetiva média (Figura 5) também é positiva, com valores de R^2 maiores que a primeira relação analisada (Figura 2), tanto para CGHs quanto para PCHs. A eficácia encontrada para as CGHs foi de $72 \pm 23\%$, enquanto a das PCHs foi de $95 \pm 25\%$. Seis das usinas não apresentaram a informação de garantia física de MW médio, e por este motivo não foram consideradas nesta análise.

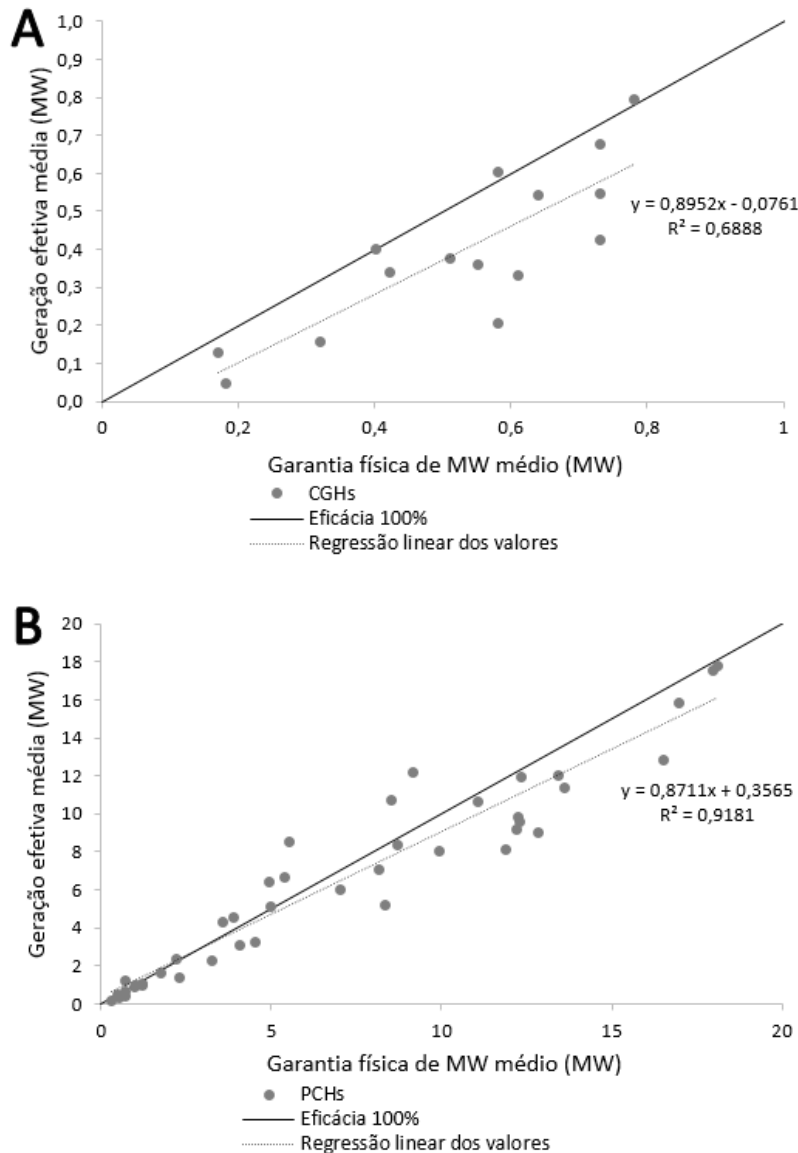


Figura 5. Relação entre garantia física média e geração efetiva média das CGHs (A); e das PCHs (B).

3.2. Análise dos estudos ambientais

Dos 14 estudos analisados, todos apresentaram a informação prévia de capacidade instalada das usinas, e apenas um não apresentou a estimativa de geração (ou informação semelhante). Porém, a análise dos EIA-RIMAs mostrou que 38% dos RIMAs não apresentaram a informação de estimativa de geração. Percebemos que a maior parte dos estudos (57%) não apresentou nenhuma análise de alternativas tecnológicas em relação ao tipo de geração (Figura 6), sendo que apenas um estudo realizou análise quantitativa das alternativas. Entretanto, é relevante destacar que neste estudo específico, a análise quantitativa foi realizada apenas em comparação com fontes não-renováveis (energia termoelétrica, termonuclear e gás natural).

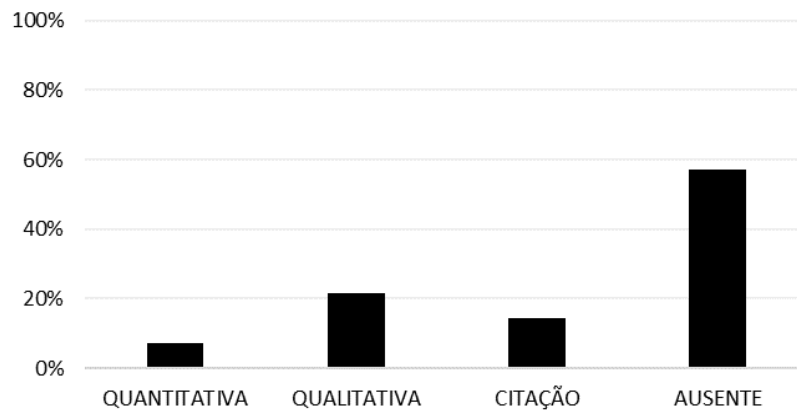


Figura 6. Nível de abrangência da análise de alternativas tecnológicas à geração hidrelétrica nos estudos de impacto ambiental (EIA e RAS) nas unidades geradoras avaliadas (Tabela MS 2).

4. DISCUSSÃO

Os resultados encontrados demonstram que a geração efetiva de energia das usinas encontra-se muito abaixo da capacidade instalada das mesmas (estando na faixa dos 50%), indicando que apenas a informação da capacidade instalada não é suficiente para que se possa saber qual será o benefício para a população com a implantação de uma usina. Também foi observado que a razão entre a energia efetiva média e a garantia física de MW médio ficou abaixo de 100%, o que indica que os métodos utilizados para o cálculo da garantia física de MW médio em geral superestimaram a geração. Assim, o processo de licenciamento das usinas, que acaba considerando essa garantia física de MW médio como prognóstico do benefício proveniente do empreendimento, superestima esse impacto positivo. Essa imprecisão no processo pode ser ainda mais grave, caso não seja informada a estimativa de geração nos estudos e o órgão ambiental conte apenas com a informação de capacidade instalada.

Em relação aos fatores que influenciam no fator de capacidade das usinas, foi possível perceber uma relação entre a variação temporal de geração de energia com o fator de capacidade das usinas. Este é um resultado preliminar, pois não foram levadas em conta as características específicas de cada usina que podem levar a essa variação, tais como tipo de reservatório e área alagada, nem as características do curso d'água como o regime de vazão. Mas ele demonstra que uma parcela considerável das CGHs e PCHs tem geração efetiva abaixo de 1/3 da capacidade instalada e geração de energia muito variável, padrão que deveria ser avaliado com mais detalhe durante as renovações de licenças, pois estas usinas poderiam ser candidatas ao descomissionamento, procedimento raramente tratado no Brasil [36,37] ou à revitalização [38] em detrimento do licenciamento de novas unidades geradoras.

Em parte dos estudos, o valor da Garantia Física de MW Médio, mesmo sendo apenas uma medida aproximada da eficiência de geração de uma unidade geradora, é apresentado no EIA, mas omitido no RIMA. As omissões e imprecisões das informações nos Relatórios de Impacto Ambiental no licenciamento brasileiro ainda carecem de uma avaliação mais sistemática mas são suficientemente recorrentes [39] para demandar uma atenção maior dos órgãos licenciadores pois podem comprometer a avaliação de benefícios e danos decorrentes do empreendimento pela população.

A análise dos estudos ambientais utilizados no processo de licenciamento evidenciou que a seção de alternativas tecnológicas é muitas vezes abordada com um viés restrito apenas às estruturas a serem utilizadas e ao arranjo das mesmas no contexto das hidrelétricas, sendo poucas vezes apresentadas alternativas de geração de energia, e menos ainda apresentadas com comparação quantitativa e/ou com demais fontes renováveis. Entretanto, se atentarmos ao fato de que alguns dos documentos (43%) apresentaram uma avaliação das alternativas de geração, ainda que muito superficial, o pressuposto de que essa análise é impositiva se confirma, devendo ela ser incluída em todos os estudos, conforme exigem as Resoluções CONAMA nº 01/1986 e nº 279/2001.

Devido ao seu tamanho e distribuição espacial, as PCHs e, principalmente, as CGHs podem ser vistas como formas de geração descentralizada, sendo muitas vezes utilizadas para fornecer energia a áreas rurais e distantes de grandes centros urbanos. Dessa forma, é adequado que as alternativas tecnológicas contemplem outros tipos de geração renovável distribuída (como solar e eólica, por exemplo), visando a maior transparência na comparação das diversas alternativas. Isso não foi percebido nos estudos analisados, que, quando abordaram alternativas de geração, apresentaram análises muito limitadas quanto a essas fontes.

A tendência global de transição da matriz energética para fontes ambientalmente menos impactantes [4], no Brasil, ainda se manifesta por meio da ampliação no número de pequenas unidades geradoras de hidroeletricidade. Já é possível observar que alguns países estão começando a desativar barragens, devido aos riscos de segurança e ao interesse na recuperação ambiental [40–42]. É necessário que o Brasil passe a avaliar essa possibilidade a medida que as demais fontes de energia renovável forem sendo aprimoradas e acumulem-se os estudos, como esse, que evidenciam a ineficiência de uma parcela considerável do parque gerador implantado. Em parte, o reconhecimento e suporte popular ao descomissionamento, revitalização de PCHs e CGHs e/ou geração por fontes alternativas virá da exigência do monitoramento pós-

operação dos impactos positivos destes empreendimentos, medida que precisa ser urgentemente implantada no licenciamento brasileiro. Neste estudo nós evidenciamos alguns indicadores que podem ser utilizados neste monitoramento e podem ser utilizados para identificar unidades geradoras candidatas ao descomissionamento.

REFERÊNCIAS

- [1] B.D. Solomon, K. Krishna, The coming sustainable energy transition: History, strategies, and outlook, *Energy Policy*. 39 (2011) 7422–7431. doi:10.1016/j.enpol.2011.09.009.
- [2] O. Ellabban, H. Abu-Rub, F. Blaabjerg, Renewable energy resources: Current status, future prospects and their enabling technology, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 39 (2014) 748–764. doi:10.1016/j.rser.2014.07.113.
- [3] G.G. Dranka, P. Ferreira, Planning for a renewable future in the Brazilian power system, *Energy*. 164 (2018) 496–511. doi:10.1016/j.energy.2018.08.164.
- [4] Frankfurt School-UNEP Centre/BNEF., Global Trends in Renewable Energy Investment 2018, 2018. doi:http://fs-unep-centre.org/sites/default/files/publications/gtr2018v2.pdf.
- [5] K.J. Warner, G.A. Jones, A population-induced renewable energy timeline in nine world regions, *Energy Policy*. 101 (2017) 65–76. doi:10.1016/j.enpol.2016.11.031.
- [6] K.J. Warner, G.A. Jones, The climate-independent need for renewable energy in the 21st century, *Energies*. 10 (2017) 4–6. doi:10.3390/en10081197.
- [7] Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), BIG - Banco de Informações de Geração, (n.d.). <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm> (accessed September 15, 2018).
- [8] J. Ribeiro Latini, M.A. Pedlowski, Examinando as contradições em torno das Pequenas Centrais Hidrelétricas como fontes sustentáveis de energia no Brasil, *Desenvolv. e Meio Ambient.* 37 (2016) 73–90. doi:10.5380/dma.v37i0.42599.
- [9] Ministério de Minas e Energia - Empresa de Pesquisa Energética, Plano Decenal de Expansão de Energia 2027, 39 (2017) 561–563.
- [10] Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), Resolução Normativa nº 673, de 4 de agosto de 2015. Estabelece os requisitos e procedimentos para a obtenção

de outorga de autorização para exploração de aproveitamento de potencial hidráulico com características de Pequena Central Hidrelétrica – PCH., n.d.

- [11] T. Abbasi, S.A. Abbasi, Small hydro and the environmental implications of its extensive utilization, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 15 (2011) 2134–2143. doi:10.1016/j.rser.2010.11.050.
- [12] S. Kelly-Richards, N. Silber-Coats, A. Crootof, D. Tecklin, C. Bauer, Governing the transition to renewable energy: A review of impacts and policy issues in the small hydropower boom, *Energy Policy*. 101 (2017) 251–264. doi:10.1016/j.enpol.2016.11.035.
- [13] L. Benejam, S. Saura-Mas, M. Bardina, C. Solà, A. Munné, E. García-Berthou, Ecological impacts of small hydropower plants on headwater stream fish: From individual to community effects, *Ecol. Freshw. Fish.* 25 (2016) 295–306. doi:10.1111/eff.12210.
- [14] P. Gibeau, B.M. Connors, W.J. Palen, Run-of-River hydropower and salmonids: potential effects and perspective on future research, *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 74 (2017) 1135–1149. doi:10.1139/cjfas-2016-0253.
- [15] M. Mueller, J. Pander, J. Geist, The effects of weirs on structural stream habitat and biological communities, *J. Appl. Ecol.* 48 (2011) 1450–1461. doi:10.1111/j.1365-2664.2011.02035.x.
- [16] A.B. Avakyan, S.A. Podol'skii, Impact of reservoirs on the fauna, *Water Resour.* 29 (2002) 123–132. doi:10.1023/A:1014940901903.
- [17] S. Fisher, A. LaVoy, Differences in littoral fauna due to fluctuating water levels below a hydroelectric dam, *J. Fish. Board Canada.* 29 (1972) 1472–1476. doi:10.1139/f72-227.
- [18] R.H. Kennedy, R.F. Gaugush, Assessment of water quality in corps of engineers reservoirs, *Lake Reserv. Manag.* 4 (1988) 253–260. doi:10.1080/07438148809354834.
- [19] T.H. Bakken, H. Sundt, A. Ruud, A. Harby, Development of small versus large hydropower in Norway comparison of environmental impacts, *Energy Procedia.* 20 (2012) 185–199. doi:10.1016/j.egypro.2012.03.019.
- [20] F.J. Magilligan, K.H. Nislow, Changes in hydrologic regime by dams, *Geomorphology.* 71 (2005) 61–78. doi:10.1016/j.geomorph.2004.08.017.

- [21] S.A. Brandt, Classification of geomorphological effects downstream of dams, *Catena*. 40 (2000) 375–401. doi:10.1016/S0341-8162(00)00093-X.
- [22] V.L. St. Louis, C.A. Kelly, É. Duchemin, J.W.M. Rudd, D.M. Rosenberg, Reservoir Surfaces as Sources of Greenhouse Gases to the Atmosphere: A Global Estimate, *Bioscience*. 50 (2000) 766. doi:10.1641/0006-3568(2000)050[0766:RSASOG]2.0.CO;2.
- [23] J.R. Kahn, C.E. Freitas, M. Petrere, False shades of green: The case of Brazilian Amazonian hydropower, *Energies*. 7 (2014) 6063–6082. doi:10.3390/en7096063.
- [24] R.D. Ponce, F. Vásquez, A. Stehr, P. Debels, C. Orihuela, Estimating the Economic Value of Landscape Losses Due to Flooding by Hydropower Plants in the Chilean Patagonia, *Water Resour. Manag.* 25 (2011) 2449–2466. doi:10.1007/s11269-011-9820-3.
- [25] Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), Resolução CONAMA nº 001, de 23 de janeiro de 1986. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental., n.d.
- [26] BRASIL, Decreto nº 5.163, de 30 de julho de 2004. Regulamenta a comercialização de energia elétrica, o processo de outorga de concessões e de autorizações de geração de energia elétrica, e dá outras providências., n.d.
- [27] Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), Resolução CONAMA nº 237, de 19 de dezembro de 1997. Dispõe sobre licenciamento ambiental; competência da União, Estados e Municípios; listagem de atividades sujeitas ao licenciamento; Estudos Ambientais, Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto, n.d.
- [28] Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), Resolução CONAMA nº 279, de 27 de junho de 2001. Estabelece procedimentos para o licenciamento ambiental simplificado de empreendimentos elétricos com pequeno potencial de impacto ambiental., n.d.
- [29] Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler, Portaria FEPAM nº 039/2017. Dispõe sobre os critérios e diretrizes gerais, bem como define os estudos ambientais e os procedimentos básicos a serem seguidos no âmbito do licenciamento ambiental de Pequenas Centrais Hidrelétricas - PCHs, e Centrais Gerador, n.d.

- [30] A. Morrison-Saunders, J. Pope, A. Bond, F. Retief, Towards sustainability assessment follow-up, *Environ. Impact Assess. Rev.* 45 (2014) 38–45. doi:10.1016/j.eiar.2013.12.001.
- [31] C. Wood, B. Dipper, C. Jones, Auditing the assessment of the environmental impacts of planning projects, *J. Environ. Plan. Manag.* 43 (2000) 23–47. doi:10.1080/09640560010757.
- [32] R. Marshall, J. Arts, A. Morrison-Saunders, International principles for best practice EIA follow-up, *Impact Assess. Proj. Apprais.* 23 (2005) 175–181. doi:10.3152/147154605781765490.
- [33] M. Montaña, A.F. Carvalho, S. Gomes, C. Natacha, M. Polaz, O. Jordão, M.P. De Souza, Revisão da qualidade de Estudos de Impacto Ambiental de pequenas centrais hidrelétricas, *HOLOS Environ.* 14 (2014) 1–14.
- [34] Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), Relatórios InfoMercado, (n.d.). https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/o-que-fazemos/infomercado (accessed October 2, 2018).
- [35] Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), Sistema de Informações Geográficas do Setor Elétrico (SIGEL), (n.d.). <https://sigel.aneel.gov.br/Down/> (accessed October 30, 2018).
- [36] T. Pinto, R. Maia, D.E.L. Resende, Critérios de decisão de remoção de estruturas hidráulicas existentes em cursos de água, (2011) 138–144.
- [37] A.C.C. Pinto, Contribuições para o Estudo de Descomissionamento de Barragens, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2010.
- [38] M.A. de Oliveira, Repotenciação de Pequenas Centrais Hidrelétricas: Avaliação técnica e econômica, Universidade Federal de Itajubá, 2018. doi:10.13140/RG.2.2.26659.71208.
- [39] M.R. Felipe, Efeitos socioambientais da UHE Foz do Chapecó: atores sociais envolvidos e o Relatório de Impacto Ambiental - RIMA, 2011.
- [40] J.E. O'Connor, J.J. Duda, G.E. Grant, 1000 dams down and counting, *Science* (80-.). 348 (2015) 496–497. doi:10.1126/science.aaa9204.
- [41] G. Agoramoorthy, The future of India's obsolete dams: Time to review their safety and structural integrity, *Futures.* 67 (2015) 22–25. doi:10.1016/j.futures.2015.02.001.

- [42] J. Ryan Bellmore, J.J. Duda, L.S. Craig, S.L. Greene, C.E. Torgersen, M.J. Collins, K. Vittum, Status and trends of dam removal research in the United States, *Wiley Interdiscip. Rev. Water*. 4 (2017) e1164. doi:10.1002/wat2.1164.

MATERIAL SUPLEMENTAR

Tabela MS 1 – Atributos das pequenas unidades geradoras de energia hidrelétrica instaladas no Rio Grande do Sul avaliadas nestes estudos.

NOME DA USINA	TIPO	ANO DE INÍCIO DA OPERAÇÃO	LATITUDE ¹ (GRAUS)	LONGITUDE ¹ (GRAUS)	CAPACIDADE DA USINA (MW)	GARANTIA FÍSICA (MW MÉDIO)	GERAÇÃO EFETIVA MÉDIA (MW)	FATOR DE CAPACIDADE (%)
Abaúna	CGH	2000	-27,8237	-52,0700	0,7	0,5	0,4	53
Abranco I	PCH	2014	-30,7880	-52,6298	4,9	2,3	1,4	28
Albano Machado	PCH	2011	-27,4967	-52,8029	3,0	1,7	1,6	55
Andorinhas	CGH	1937	-28,4046	-53,8099	0,5	0,4	0,3	67
Autódromo	PCH	2011	-28,8282	-51,8422	24,0	12,3	9,6	40
Bela União (Trincheira)	PCH	2015	-27,7816	-54,3737	2,3	1,2	1,0	43
Boa Fé	PCH	2011	-28,7528	-51,8439	24,0	12,2	9,9	41
Braga	CGH	2004	-27,4422	-53,2773	0,5	0,3	0,2	31
Caa-Yari	CGH	2005	-27,4290	-54,1215	1,0	0,6	0,5	54
Caçador	PCH	2008	-28,7059	-51,8508	22,5	12,2	9,2	41
Capigui	PCH	2000	-28,3510	-52,2142	4,5	0,7	1,3	28
Caragatá	CGH	2004	-28,0231	-54,8354	1,0	0,7	0,5	58
Carlos Bevilacqua	CGH	2009	-27,6027	-53,3919	0,8	0,6	0,6	75
Carlos Gonzatto	PCH	2006	-27,6221	-53,8038	9,0	5,0	5,2	57
Cascata das Andorinhas	CGH	2003	-27,3572	-52,7709	1,0	0,8	0,8	80
Cascata do Barreiro	CGH	2005	-27,8854	-53,1351	0,3	0,2	0,1	46
Caxambu	CGH	2014	-28,3973	-53,4585	0,8	-	0,3	36

NOME DA USINA	TIPO	ANO DE INÍCIO DA OPERAÇÃO	LATITUDE ¹ (GRAUS)	LONGITUDE ¹ (GRAUS)	CAPACIDADE DA USINA (MW)	GARANTIA FÍSICA (MW MÉDIO)	GERAÇÃO EFETIVA MÉDIA (MW)	FATOR DE CAPACIDADE (%)
Cotiporã	PCH	2008	-28,9628	-51,7577	19,5	12,8	9,1	47
Criúva	PCH	2010	-28,9644	-50,7990	23,9	13,4	12,1	50
Da Ilha	PCH	2008	-28,8916	-51,4557	26,0	18,1	17,9	69
Dona Maria Piana	CGH	2010	-29,0899	-51,3095	1,0	0,6	0,3	34
Dona Mirian	CGH	2000	-28,1556	-51,5000	0,6	-	0,2	36
Engenheiro Ernesto Jorge Dreher	PCH	2009	-29,1222	-53,3662	17,9	11,1	10,7	60
Engenheiro Henrique Kotzian	PCH	2011	-29,1285	-53,3198	13,0	8,7	8,4	65
Ernestina	PCH	2000	-28,5558	-52,5456	5,0	3,2	2,3	46
Esmeralda	PCH	2006	-27,7886	-51,3478	22,2	12,3	12,0	54
Ferradura	PCH	2003	-27,5611	-53,5789	9,2	5,4	6,7	73
Forquilha	PCH	2000	-27,6594	-51,7482	1,1	1,0	0,9	84
Furnas do Segredo	PCH	2005	-29,3658	-54,5040	9,8	3,9	4,6	47
Galópolis	PCH	2009	-29,2370	-51,1563	1,5	0,7	0,5	31
Guaporé	CGH	1950	-28,9071	-51,9467	0,7	0,4	0,4	60
Guarita	PCH	2000	-27,7653	-53,5578	1,8	1,0	1,0	58
Herval	PCH	2000	-29,5010	-51,0025	1,5	0,3	0,2	13
Ijuizinho	PCH	2000	-28,4423	-54,2893	1,1	0,7	0,7	59
Jararaca	PCH	2008	-28,9378	-51,4660	28,0	18,0	17,6	63

NOME DA USINA	TIPO	ANO DE INÍCIO DA OPERAÇÃO	LATITUDE ¹ (GRAUS)	LONGITUDE ¹ (GRAUS)	CAPACIDADE DA USINA (MW)	GARANTIA FÍSICA (MW MÉDIO)	GERAÇÃO EFETIVA MÉDIA (MW)	FATOR DE CAPACIDADE (%)
José Barasuol (Antiga Linha 3 Leste)	PCH	2003	-28,2919	-53,8774	14,3	8,5	10,7	75
Linha Emília	PCH	2009	-28,9407	-51,7734	19,5	11,9	8,2	42
Marco Baldo	PCH	2011	-27,5754	-53,7891	16,8	9,1	12,2	73
Moinho	CGH	2007	-27,5622	-53,1882	0,3	0,2	0,1	19
Moinho	PCH	2011	-27,7720	-51,3334	13,7	7,0	6,1	44
Morrinhos	PCH	2014	-30,3173	-51,8679	2,3	1,2	1,1	48
Nilo Bonfante	CGH	1999	-27,9613	-53,9703	0,7	-	0,5	81
Palanquinho	PCH	2010	-28,8960	-50,8120	24,2	13,6	11,4	47
Passo do Inferno	PCH	2000	-29,2892	-50,7405	1,5	0,5	0,3	21
Passo do Meio	PCH	2003	-28,8064	-50,6130	30,0	16,9	15,9	53
Pezzi	PCH	2012	-28,7925	-50,5654	19,0	9,9	8,0	42
Picada 48	CGH	2012	-29,5841	-51,1173	1,0	-	0,5	47
Pirapó	CGH	1952	-28,1421	-55,0658	0,8	0,6	0,2	27
Posto	CGH	1996	-28,1291	-51,6273	0,8	0,6	0,4	46
Rastro de Auto	PCH	2013	-29,0534	-52,2198	7,0	4,5	3,3	47
Rio dos Índios	PCH	2013	-27,2818	-52,7952	8,0	4,1	3,1	39
Rio Fortaleza	CGH	1999	-27,4736	-53,4575	0,9	0,7	0,4	49
RP 1	CGH	2015	-28,8401	-52,7014	1,3	-	0,6	48
RS-155	PCH	2012	-28,3121	-53,8960	6,0	3,5	4,3	72

NOME DA USINA	TIPO	ANO DE INÍCIO DA OPERAÇÃO	LATITUDE¹ (GRAUS)	LONGITUDE¹ (GRAUS)	CAPACIDADE DA USINA (MW)	GARANTIA FÍSICA (MW MÉDIO)	GERAÇÃO EFETIVA MÉDIA (MW)	FATOR DE CAPACIDADE (%)
Saltinho	CGH	1950	-28,6192	-51,3550	0,8	0,7	0,7	85
Santo Antônio	PCH	2005	-27,7019	-54,4212	4,5	2,2	2,4	54
São Bernardo	PCH	2006	-27,7384	-51,3134	15,0	8,1	7,1	48
São Marcos	PCH	-	-28,9167	-51,1675	2,2	0,5	0,5	24
São Paulo	PCH	2012	-28,7748	-51,8439	16,0	8,3	5,3	33
Serra dos Cavalinhos II	PCH	2013	-28,7918	-50,7465	29,0	16,5	12,9	44
Tambaú	PCH	2013	-27,4409	-53,5611	8,8	4,9	6,4	73
Toca do Tigre	PCH	2013	-27,5446	-53,8069	11,8	5,5	8,5	72
Trabuco	CGH	2014	-28,6025	-51,2344	1,0	-	0,6	61

¹Datum: SIRGAS 2000

Tabela MS 2– Lista de pequenas unidades geradoras de hidroeletricidade brasileiras incluídas na revisão dos estudos ambientais para verificar a indicação da geração efetiva e avaliação de alternativas tecnológicas

NOME DA USINA	TIPO	FONTE DOS DADOS	INSTRUMENTO	ANO	LOCALIZAÇÃO	CAPACIDADE INSTALADA (MW)
Cabuí	PCH	IBAMA ¹	EIA-RIMA	2012	Simão Pereira e Belmiro Braga - MG	18
Caiçara	PCH	IBAMA ¹	EIA-RIMA	2013	Bonito de Minas - MG e Cocos - BA	19,5
Gavião	PCH	IBAMA ¹	EIA-RIMA	2013	Bonito de Minas - MG e Cocos - BA	22
Beira Rio	PCH	IAP ²	EIA-RIMA	2016	Jaguariaíva e Sengés - PR	16,15
Muquilão	PCH	IAP ²	EIA-RIMA	2018	Iretama, Nova Tebas e Jardim Alegre - PR	10,9
Invernadinha	PCH	IAP ²	EIA-RIMA	2014	Mangueirinha - PR	11
Clairto Zonta	PCH	IAP ²	EIA-RIMA	2015	Rio Branco do Ivaí - PR	15
Morro Grande	PCH	SOLUZIONA ENERGIA ³	EIA-RIMA	2018	Muitos Capões - RS	9,8
Boa Sorte	CGH	INEA ⁴	RAS	2013	Cantagalo - RJ	1
Providência	PCH	INEA ⁴	RAS	2015	Teresópolis - RJ	5
Ouro Branco	PCH	GOOGLE	RAS	2012	Peabiru - PR	3,5
Engenheiro Beltrão	PCH	GOOGLE	RAS	2012	Engenheiro Beltrão e Quintas do Sol - PR	5,2
Água Bonita	PCH	GOOGLE	RAS	2014	Arapoti - PR	4,2
Açungui 2E	PCH	GOOGLE	RAS	2016	Campo Largo e Itaperuçu - PR	5,9

¹ <http://licenciamento.ibama.gov.br/>

² <http://www.iap.pr.gov.br/pagina-646.html>

³ <http://soluzionaenergia.com.br/empreendimentos/pch-morrogrande.html>

⁴ <http://www.inea.rj.gov.br/Portal/Agendas/LicenciamentoAmbienta/Licenciamento-saiba-mais/RelatAmbSimplificado/index.htm>