

## AVALIAÇÃO ALTIMÉTRICA MORFOLÓGICA APLICADA À PROJETOS DE USINAS HIDRELÉTRICAS

### *Morphological altimetric evaluation applied to hydroelectric plants projects*

**Vivian da Silva Celestino Reginato**

**Universidade Federal de Santa Catarina**

PPGTG – Departamento de Engenharia Civil

vivian.celestino@ufsc.br

#### **Resumo:**

Usinas hidrelétricas causam impactos que são usualmente estimados pelo indicador de Moreira e Polle (M&P), que consiste na potência hidrelétrica produzida por hectare de área inundada. Apesar dos empreendedores utilizarem bases altimétricas com qualidade declarada para atender às normas até as etapas de projeto, não é verificado com segurança, *a priori*, se a tolerância altimétrica de tais bases é suficiente para assegurar um não aumento nos impactos. Este trabalho versa sobre qualidade altimétrica necessária a suprir as demandas de projetos hidrelétricos e à legislação cartográfica. Para atender aos objetivos foi desenvolvido um método para avaliar a qualidade de bases altimétricas priorizando a morfologia, de forma que as informações altimétricas provenientes das bases e dos levantamentos de campo, quando confrontadas, apresentem suas reais diferenças. Para tanto foram utilizadas duas áreas de estudo com relevos diferenciados. Para validar as bases foram realizadas avaliações pontuais de qualidade, e no final foi apresentada a proposta de avaliação morfológica que levou em consideração os relevos das regiões e os consequentes reflexos ocasionados pela demarcação gráfica das superfícies simuladas. Analisando os resultados verifica-se que, praticamente todas as bases testadas foram enquadradas no PEC para a exatidão declarada e, puderam ser avaliadas morfológicamente. Cada base também teve indicada qual etapa de projeto de hidrelétrica pode ser utilizada.

**Palavras-chave:** Exatidão altimétrica; Cartografia; Morfologia; Relevo; Modelo Digital de Elevação (MDE).

#### **Abstract:**

Hydroelectric plants cause impacts that are usually estimated using the Moreira and Polle (M&P) indicator, which consists of the hydroelectric power produced per hectare of flooded area. Although entrepreneurs use altimetric bases with declared quality to meet the standards up to the design stages, it is not safely verified, *a priori*, whether the altimetric tolerance of such bases is sufficient to ensure no increase in impacts. This paper deals with the altimetric quality necessary to meet the demands of hydroelectric projects and cartographic legislation. To meet the objectives, a method was developed to evaluate the quality of altimetric bases prioritizing morphology, so that the altimetric information from the bases and field surveys, when confronted, present their real differences. For that, two study areas with different reliefs were used. To validate the bases, specific quality assessments were carried out, and at the end the proposal for a morphological assessment was presented, which took into account the reliefs of the regions and the consequent reflections caused by the graphic demarcation of the simulated surfaces. Analyzing the results, it appears that practically all the bases tested were included in the PEC for the declared accuracy and could be morphologically evaluated. Each base also had an indication of which stage of the hydroelectric project can be used.

**Keywords:** Altimetry Accuracy, Cartography, Relief, Morphology, Digital Elevation Models (DEM).

## 1 INTRODUÇÃO

Os recursos hídricos são corpos físicos e possuem características dinâmicas devido à atuação das forças da gravidade, que atrai as águas para as regiões de baixas altitudes até encontrar o oceano ou uma barreira. Quando o fluxo das águas encontra uma barreira e passa por uma usina é gerada uma energia, denominada de hidrelétrica. Usinas Hidrelétricas (UHE) sempre causam impactos, que usualmente são estimados por um indicador, denominado Indicador de Moreira e Polle (M&P) (1993), que é a potência hidrelétrica produzida em kilo Watt (kW) por hectare (ha) de área inundada. Quanto maior for esse número, menores são os possíveis impactos sobre o meio ambiente.

De acordo com Celestino e Philips (2015), o alagamento é um indicador importante para o impacto ambiental de UHE, mas não o único. Apesar da utilização de bases cartográficas com qualidade declarada para atender às normas da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) (BRASIL, 2008) e a Eletrobras Centrais Elétricas S.A. (ELETROBRAS, 1999), na etapa de projeto básico hidrelétrico, não é verificado com segurança, *a priori*, se a tolerância altimétrica de tais bases é suficiente para assegurar um não aumento nos impactos socioambientais no momento de consolidar os projetos.

A utilização de bases cartográficas confiáveis é imprescindível à gestão territorial de áreas atingidas por UHE, pois o desenvolvimento com dados altimétricos incorretos pode acarretar dimensionamentos equivocados em relação ao nível de alagamento (NA) e às áreas de preservação permanente (APP). Definir os produtos altimétricos e suas respectivas tolerâncias para dimensionar áreas de UHE é a proposta desta pesquisa, que tem por objetivo desenvolver um método para avaliar a qualidade das superfícies geradas por produtos altimétricos.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo apresenta a caracterização das áreas de estudo, a descrição dos materiais utilizados e os procedimentos metodológicos realizados.

Foram definidas como áreas de estudo duas UHE de propriedade da CGT Eletrosul. Todas as informações referentes às bases altimétricas foram cordialmente cedidas por esta empresa. A Usina Hidrelétrica Passo São João (UHEPSJ) está localizada no rio Ijuí, no noroeste do estado do Rio Grande do Sul, entre os municípios de Roque Gonzales, Dezesseis de Novembro, São Luiz Gonzaga, São Pedro do Butiá e Rolador. É uma usina a fio d'água com potência instalada de 77 MW, possui área total alagada de 2524 ha e perímetro de 181 km. O NA da usina é de 128,25 m. Ver fotografia da UHEPSJ na Figura 1. A segunda, Usina Hidrelétrica São Domingos (UHESD) está localizada no rio Verde, entre os municípios de Ribas do Rio Pardo e Água Claro, no estado do Mato Grosso do Sul. Tem potência instalada de 48 MW, possui área total alagada de 1864 ha e perímetro de 76,50 km. O NA da usina é de 345 m. Ver fotografia da UHESD na Figura 2.

Os produtos altimétricos e os equipamentos (*hardwares* e *softwares*) utilizados foram:

- Curvas de nível das cartas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) nas escalas 1:50000 e 1:100000, com equidistância vertical de 20 e 40 m, respectivamente;
- Curvas de nível provenientes de Restituições Fotogramétricas das regiões de abrangência da UHEPSJ e UHSD com equidistância vertical de 5 m;

- *Softwares*: Autodesk Map 3d, Arcgis e DXF2XYZ.

Figura 1 – Fotografia da UHEPSJ.



Figura 2 – Fotografia da UHESD.



Sobre os procedimentos metodológicos, primeiramente foi realizada uma avaliação da qualidade por ponto de controle, através das definições do Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) (BRASIL, 1984). As bases de referência foram levantadas por locação em campo e demarcação física do NA para cada UHE, através de nivelamento geométrico de precisão e levantamento geodésico pelo método relativo estático. As coordenadas das bases de referência foram discretizadas através do DXF2XYZ. Foram utilizados 40 pontos de controle para cada área de estudo distribuídos por sorteio manual simples sem reposição, de forma a ter um universo amostral com 97,5% de confiança. Os pontos foram inseridos nas bases testadas e foram realizadas interpolações manuais retas para verificar a altimetria, através do AutodeskMap.

Para realizar a avaliação morfológica, cada área de estudo teve classificado seu relevo em relação à inclinação/declividade. Todas as funções descritas em *itálico* são da ferramenta *Spatial Analyst* do ArcGis. Foi utilizado o interpolador *Topo to Raster* para gerar Modelo Digital de Elevação (MDE), de onde foram extraídas curvas de nível que simularam os NA de cada UHE através da função *Contour*. Para definir os padrões superficiais de qualidade foi utilizado como referência o Artigo 500 do Código Civil Brasileiro (BRASIL, 2002), onde foi considerada como dimensão dada (área de matrícula), aquela formada pelas curvas extraídas diretamente dos produtos testados (MDE) nos seus respectivos NA (curva simulada) e como dimensão determinada a medida de extensão demarcada em campo nas Bases de Referência (curva de referência). Os produtos que apresentaram diferenças entre dimensões dada e determinada abaixo de um vigésimo da área total enunciada, ou seja, abaixo de 5%, foram aprovados. O restante foi reprovado. Foi definido como método absoluto de avaliação aquele que considerou somente as diferenças de dimensões sem georreferenciamento. Foi definido como método relativo aquele que levou em consideração o georreferenciamento. Para os testes e enquadramento foram gerados polígonos de área total e área comum entre curvas simuladas e de referência através das funções *Intersect* e *Merge* e, também, foram excetuadas as áreas formadas em comum, por lógica simples através da função *Clip*.

Os resultados provenientes das curvas simuladas dos produtos testados permitiram a aplicação em duas situações usualmente utilizadas em engenharia. A primeira, através do Indicador de M&P, onde foram utilizados como parâmetros os valores que variaram somente

em até 20 % para mais ou para menos em relação ao valor de referência calculado. A segunda, através das seguintes etapas de projetos de hidrelétricas: Fases de escritório (Estimativa do Potencial Hidrelétrico e Inventário Hidrelétrico) e Fases que necessitam de complementação com trabalhos de campo (Viabilidade e Projeto Básico).

### 3 RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos nas etapas de avaliação por ponto de controle, avaliação morfológica, aplicações em engenharia e análises conjunturais.

#### 3.1 Avaliação da qualidade por ponto de controle

As expectativas de exatidão *a priori* dos produtos testados, bem como a exatidão dos pontos de controle a ser utilizados são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Expectativa de exatidão.

Produto (equidistância e escala)	PEC Classe A Altimétrico		PEC Classe A Planimétrico	
	Exatidão a priori	Exatidão dos Pontos	Exatidão a priori	Exatidão dos Pontos
Base Foto 1 (5 m) 1:15000	2,5	0,83	2,5	0,83
Base Foto 2 (5 m) 1:5000	2,5	0,83	2,5	0,83
Base Carta 1 (20 m) 1:50000	10	3,33	25	8,33
Base Carta 2 (40 m) 1:100000	20	6,67	50	16,67

Cada área de estudo possui uma cota de inundação específica, denominada de NA. Para a UHEPSJ foi utilizado o NA de 128,5 m e para a UHESD o NA de 345 m. As informações levantadas por topografia em campo geraram bases altimétricas e foram utilizadas como referência para extração dos pontos de controle utilizados neste trabalho. Será denominada de Base de Referência 1 a relativa a UHEPSJ e Base de Referência 2 a da UHESD. Foi realizada a distribuição dos 40 pontos de controle sorteados e os mesmos foram inseridos nas bases, conforme apresentação, por área de estudo, das Figuras 3 e 4.

Figura 3 – Pontos de Controle UHEPSJ.

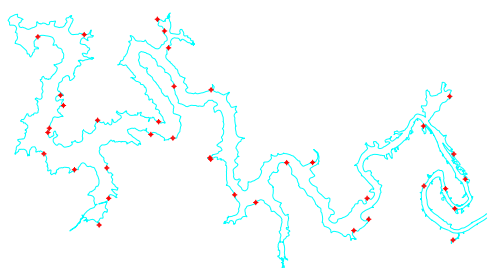
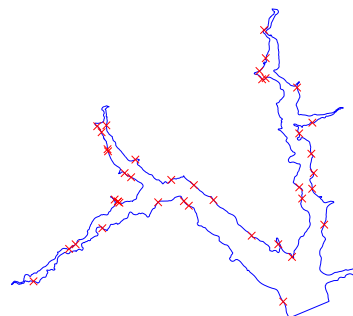


Figura 4 – Pontos de Controle UHESD.



Foram analisadas as localizações dos 40 pontos para cada base de referência em relação às curvas de nível de cada base testada e após foi realizada a interpolação. Os resultados das interpolações foram tabelados e analisados.

Ao analisar os resultados gerados da Base Foto 1 verificou-se que, em relação ao PEC somente quatro pontos apresentaram resultados acima dos 2,5 m estimados, significando 10 % de pontos rejeitados e 90 % de pontos aprovados. A média das diferenças dos 40 pontos sorteados foi de 0,33 m e o desvio padrão foi de 1,48 m. Então, a Base Foto 1 pode ser enquadrada no PEC – Padrão Classe A altimétrico em relação à exatidão e à precisão para a escala 1:5000. Da mesma forma para a Base Foto 2 somente quatro pontos apresentaram resultados acima dos 2,5 m estimados, significando 10 % de pontos rejeitados e 90 % de pontos aprovados. A média foi de -0,66 m e o desvio padrão de 1,52 m. Então, a Base Foto 2 pode ser enquadrada no PEC – Padrão Classe A altimétrico em relação à exatidão e à precisão para a escala 1:5000. Para a Base Carta 1 dez pontos apresentaram resultado acima dos 10 m estimados, significando 25 % de pontos rejeitados, não podendo ser enquadrada na Classe A. Nenhum ponto apresentou valor superior a 12 m, significando 100 % de pontos aprovados. A média das diferenças dos 40 pontos foi de -0,70 m e o desvio padrão foi de 7,52 m. Assim, a Base Carta 1 pode ser enquadrada no PEC – Padrão Classe B altimétrico em relação à exatidão e à precisão para a escala 1:50000. Da mesma forma para a Base Carta 2 verificou-se que, em relação ao PEC, sete pontos apresentaram resultado acima dos 20 m estimados, significando 17,5 % de pontos rejeitados, não podendo ser enquadrada na Classe A. Somente dois pontos apresentaram valores superiores a 24 m, significando 95 % de pontos aprovados. A média das diferenças foi de 4,15 m e o desvio padrão de 15,82 m. Então, a Base Carta 2 pode ser enquadrada no PEC – Padrão Classe B altimétrico em relação à exatidão e à precisão para a escala 1:100000.

### 3.2 Avaliação morfológica

A inclinação/declividade do relevo de cada área de estudo foi calculada, sendo que o relevo da UHEPSJ foi classificado como ondulado, com declividade entre 8 e 20%. O relevo da UHESD foi classificado como suave ondulado, com declividade entre 3 e 8%. Para avaliação em relação ao Código Civil foram utilizadas como referência as dimensões reais demarcadas em campo provenientes das Bases de Referência 1 e 2 com base nos NA de projeto das usinas. As dimensões das Bases de Referência podem ser verificadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Dimensões das bases de referência.

Base	Área (m <sup>2</sup> )	Perímetro (m)	Cota (m)
UHEPSJ	25236104,49	181140,46	128,50
UHESD	18638586,64	75744,36	345,00

As dimensões simuladas são relativas às curvas produzidas a partir das bases testadas nas cotas do NA. Na Tabela 3 as dimensões formadas pelas curvas simuladas para cada área e base simuladas são apresentadas. A diferença das dimensões em termos absolutos está sendo apresentado na Tabela 4, e em termos relativos na Tabela 5.

Tabela 3 – Dimensões das bases simuladas.

Base	Área (m <sup>2</sup> )	Perímetro (m)	Cota (m)
Foto 1	25172322,93	147491,20	128,50
Foto 2	18203065,05	76985,59	345,00
Carta 1	26187799,68	114322,04	128,50

Carta 2	38577750,11	52122,96	345,00
---------	-------------	----------	--------

Tabela 4 – Diferença absoluta entre bases de referência e simuladas.

Bases	Área (m <sup>2</sup> )	Área (m <sup>2</sup> ) %
Foto 1	63781,56	0,25
Foto 2	435521,59	2,34
Carta 1	-951695,19	-3,77
Carta 2	-19939163,47	-106,98

Tabela 5 – Área relativa e área comum entre bases de referência e simuladas.

Bases	Área total – Área Comum (m <sup>2</sup> )	Área Comum (m <sup>2</sup> )	Área total – Área Comum (m <sup>2</sup> ) %	Área Comum (m <sup>2</sup> ) %
Foto 1	3526095,79	23441165,82	13,08	86,92
Foto 2	23692205,85	16762065,45	8,19	91,81
Carta 1	11228526,74	20097688,71	35,84	62,66
Carta 2	8368499,30	10337222,69	58,57	41,43

De acordo com as dimensões apresentadas na coluna Área (m<sup>2</sup>) % da Tabela 4 e na coluna Área total – Área Comum (m<sup>2</sup>) % da Tabela 5, em relação às áreas, foram aprovadas as Bases Fotos 1 e 2 e a Base Carta 1 no método absoluto, pois todas apresentaram valores abaixo dos 5% especificado. Foram reprovadas a Base Carta 2 no método absoluto, pois a mesma apresentou um valor muito superior ao especificado de 5% (foi maior que 100%) e todas as bases testadas no método relativo, pois todas apresentaram valores superiores ao especificado de 5%.

Ao observar os resultados da Tabela 5, especificamente os valores da coluna Área Comum (m<sup>2</sup>) %, verificou-se que as áreas formadas em comum entre as bases fotogramétricas e de referência são relativamente maiores do que as áreas formadas em comum entre as bases cartográficas e de referência. Na etapa de avaliação morfológica quantitativa foram calculadas as dimensões formadas entre as curvas de referência e simuladas, excetuadas as áreas formadas em comum. Os resultados podem ser observados na Tabela 6.

Tabela 6 – Área não comum (%) entre bases de referência e simulada.

Bases	Área de Fora da referência %	Área de Fora da referência/Área Total%	Área de Dentro da referência %	Área de Dentro da referência/Área Total %
Foto 1	6,42	49,10	6,66	50,90
Foto 2	2,96	36,16	5,23	63,84
Carta 1	19,44	54,24	16,40	45,76
Carta 2	53,93	92,08	4,64	7,92

Ao observar os resultados da Tabela 6, verifica-se, principalmente nas colunas Área de Fora da referência/Área Total% e Área de Dentro da referência/Área Total%, que a maioria das áreas não comuns formadas ora se situaram para dentro da curva de referência, ora se situaram para dentro da curva de referência de forma distribuída, com exceção da Base Carta 2 que apresentou maioria de sua área não comum formada para fora da curva de referência. Os detalhes de cada base simulada podem ser verificados nas Figuras 5, 6, 7 e 8, sendo que os desenhos em branco representam as áreas formadas em comum entre as curvas de referência e simuladas e os desenhos vermelhos representam as áreas não comuns formadas entre as curvas

de referência e simuladas.

Figura 5 – Simulação Base Foto 1 UHEPSJ.

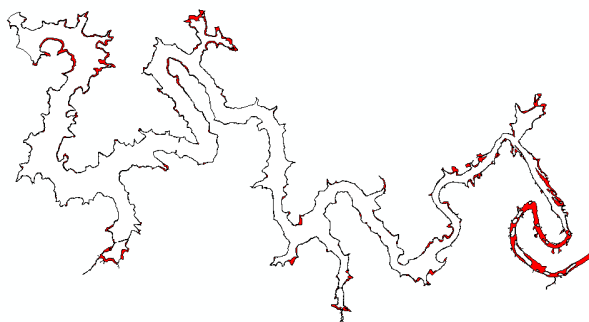


Figura 6 – Simulação Base Carta 1 UHEPSJ.

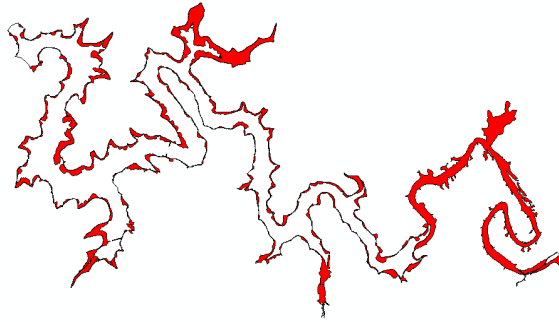
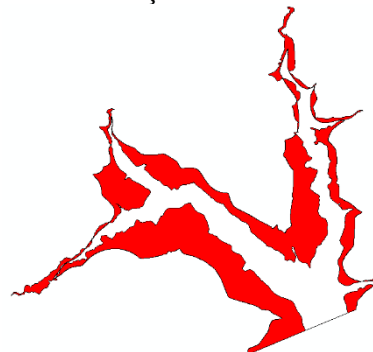


Figura 7 – Simulação Base Foto 2 UHESD.



Figura 8 – Simulação Base Carta 2 UHESD.



Na etapa de avaliação morfológica qualitativa, para a UHEPSJ, que apresenta um relevo mais ondulado, os resultados apresentados pelas curvas simuladas extraídas, a partir das bases testadas, se justificam porque o relevo mais inclinado diminui o espaçamento lateral (distância) entre as curvas de nível. As curvas simuladas acompanharam o desenho da curva de referência, principalmente na região do barramento e se mostrou, na maioria de seu entorno, morfológicamente semelhante, apresentando variações para menos. O único agravo é que, distante do barramento, foram geradas pequenas ilhas na simulação advinda da Base Foto 1 e uma ausência de curva no final do barramento na simulação advinda da base carta 1. Estes resultados são coerentes somente em parte com o enquadramento no PEC Padrão Classe A e B, respectivamente, para a Base Foto 1 e Carta 1 (Figuras 5 e 6).

Em relação à UHESD, que apresenta um relevo levemente ondulado, os resultados apresentados pela simulação a partir da Base Foto 2 se justificam porque, a curva restituída exatamente na cota de alagamento facilitou a extração da curva simulada do MDE gerado, o que refletiu em uma curva simulada que acompanhou fielmente o desenho da curva de referência em todo seu entorno, se apresentando morfológicamente de acordo com a curva de referência. Este resultado parece ser coerente com o enquadramento no PEC Padrão Classe A da Base Foto 2, pois o teste, apesar de permitir somente a avaliação pontual, entre curvas de

nível, foi compatível com o contorno da curva gerada a partir da citada base (Figura 7). No caso da Base Carta 2, devido a escala 1:100000 com curvas de nível com equidistância de 40 m, associada ao relevo levemente ondulado, os resultados também se justificam porque, a última curva restituída antes do corpo d'água surgir era muito distante horizontalmente do NA demarcado. A cota simulada parece não ter se adequado perfeitamente ao contorno da curva de referência, se apresentando morfologicamente muito maior e completamente fora da mesma na maioria de seu contorno. Este resultado parece não ser coerente com o enquadramento no PEC Padrão Classe B da Base Carta 2, pois o teste, por permitir somente a avaliação pontual, entre curvas de nível, não reflete a realidade do contorno da curva gerada a partir da citada base (Figura 8).

### 3.3 Aplicações

Primeiramente, os resultados foram aplicados aos indicadores de M&P. Os valores de referência são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 – Indicador M&P para as bases de referência.

Base	Potência (kW)	Área NA (ha)	Indicador M&P
UHEPSJ	77000	2523,61	30,51
UHESD	48000	1863,86	25,75

Para cada base testada foi calculado um indicador baseado na extração da curva que simula o NA. Os indicadores calculados são apresentados na Tabela 8, com seu respectivo percentual limitante de 20%.

Tabela 8 – Indicador M&P para as bases simuladas.

Usina	Potência (kW)	Área Simulada (ha)	Indicador M&P	Indicador %
Foto 1	77000	2517,23	30,59	0,26
Carta 1	77000	2618,78	29,40	-3,64
Foto 2	48000	1820,31	26,37	2,41
Carta 2	48000	3857,77	12,44	-51,69

De acordo com os valores apresentados na Tabela 8, não houve diferença significativa nos indicadores calculados para as três primeiras bases, em relação ao valor de referência apresentado na Tabela 7, estando as curvas simuladas a partir da Base Foto 1 e 2 e da Base Carta 1 dentro do limite estabelecido. Para a Base Carta 2, entretanto, houve diferença significativa no indicador calculado em relação ao valor de referência, não estando a curva simulada a partir desta base dentro do limite estabelecido.

A segunda aplicação realizada foi relativa às etapas de projetos de hidrelétricas, que considerou os resultados da Tabela 6. Por apresentar um contorno semelhante ao da curva de referência, com pequenas variações, ora para fora ou ora para dentro da mesma, numa proporção de quase 50%, conclui-se que o NA simulado da Base Foto 1 da UHEPSJ pode ser utilizado para simular o NA desde a etapa de Estimativa do Potencial Hidrelétrico até a etapa de Viabilidade. Por apresentar um contorno semelhante ao da curva de referência, com pequenas variações, ora para fora ou ora para dentro da mesma, conclui-se que o NA simulado da Base Carta 1 da UHEPSJ pode ser utilizado para simular o NA desde a etapa de Estimativa

do Potencial Hidrelétrico até a etapa de Inventário Hidrelétrico. Por apresentar um contorno semelhante ao da curva de referência, sem discrepâncias, numa proporção de 36,16 % para fora e 63,84 % para dentro, conclui-se que o NA simulado da Base Foto 2 da UHESD pode ser utilizado para simular o NA desde a etapa de Estimativa do Potencial Hidrelétrico até a etapa de Projeto Básico. Por apresentar um contorno muito diferente ao da curva de referência, com variações em todo entorno, numa proporção de 92,08 % para fora e de 7,92 % para dentro, conclui-se que o NA simulado da Base Carta 2 da UHESD, não pode ser utilizada para simular o NA em nenhuma etapa de projetos de usinas.

### 3.4 Análises

No geral, analisando os resultados verifica-se que praticamente todas as bases testadas foram enquadradas no PEC para a exatidão declarada e todas as bases testadas puderam ser avaliadas morfológicamente. As Bases Foto 1 e 2 foram enquadradas no PEC Altimétrico Padrão Classe A com equidistância de curvas de nível de 5 m e precisão em torno de 1,5 m. Na avaliação morfológica as Bases Foto 1 e 2 foram aprovadas no enquadramento de áreas no método absoluto do Código Civil e reprovadas no relativo, embora tenham apresentado, aproximadamente 87% e 92% de áreas comuns e apresentaram também, valores muito próximos das referências para os indicadores de M&P, recebendo também aprovação para simular o NA até as etapas de viabilidade e projeto básico.

A Base Carta 1 foi enquadrada no PEC Altimétrico Padrão Classe B para a equidistância de curvas de nível de 20 m e precisão de 7,52 m e a Base Carta 2 foi enquadrada no PEC Altimétrico Padrão Classe B para a equidistância de curvas de nível de 40 m e precisão de 15,82 m. Na avaliação morfológica a Base Carta 1 foi aprovada no enquadramento de áreas no método absoluto do Código Civil e reprovada no relativo, embora tenha apresentado aproximadamente 64 % de áreas comuns e apresentou valor próximo ao da referência para o indicador de M&P e foi aprovada. Também recebeu a aprovação para simular NA até a etapa de inventário hidrelétrico. Na avaliação morfológica a Base Carta 2 foi reprovada nos métodos absoluto e relativo do Código Civil, com somente 41,43 % de áreas comuns. A base apresentou valor completamente subestimado para o indicador de M&P e não recebeu aprovação para simular NA em nenhuma etapa de projeto hidrelétrico.

## 4 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Conclui-se que o objetivo principal foi cumprido, tendo em vista que foi proposto um método não pontual, tanto para realizar a avaliação de qualidade altimétrica de bases altimétricas, quanto para extrair curvas de nível que simulam o NA, mostrando suas reais diferenças de áreas. O método foi aplicado em duas áreas de estudo propostas e as duas apresentavam relevos diferenciados. Conclui-se também que foram definidos quais produtos altimétricos podem ser utilizados para simular o NA de usinas hidrelétricas, bem como até quais etapas de projeto podem ser utilizados.

Recomenda que sejam realizados trabalhos utilizando-se o mesmo método descrito para avaliar áreas com relevos fortemente ondulados e escarpados, bem como a utilização de outros produtos para as mesmas áreas testadas, por exemplo, provenientes de varreduras a laser, modelos estereoscópicos advindos de imagens de Sensoriamento Remoto ou missões do tipo

radar/bradar.

Neste trabalho foram considerados como ideais a serem aplicadas em projetos de hidrelétricas as curvas que apresentaram maiores superfícies em comum com as formadas pelas curvas de referência, seguida por aquelas que, apresentando superfícies não comuns, apresentaram distribuição de superfícies ora para fora, ora para dentro da cota de referência, em uma proporção de 50 % cada, para compensar perdas e ganhos.

No caso de simulação de NA por diferentes bases, as áreas formadas, ora para fora, ora para dentro no ambiente gráfico em relação ao NA de referência (a cota efetivamente demarcada em campo e sua consequente inundação), devem ser analisadas com critério, pois dependendo do que pode ser considerado melhor ou pior caso, do ponto de vista do empreendedor ou do atingido por barragem, pode interferir nos resultados e nas análises.

Em grandes usinas, áreas estimadas por simulação nas fases de estudo, maiores do que o efetivado nas fases de projetos consolidados podem comprometer as outras fases, como a de inventário e viabilidade, por exemplo. Nestes casos pode e deve ser indicada a realização de maiores estudos para compilação de informações com qualidade superior, antes de inviabilizar o projeto. Em contrapartida, áreas estimadas por simulação nas fases de estudo, menores do que o efetivado nas fases de projetos consolidados pode se tornar um grande problema, pois uma maior área alagada pode significar um número maior de atingidos, bem como maiores áreas com vegetação a ser suprimida, entre outros, que no final se transformam em prejuízos aos empreendedores e um impacto negativo perante a comunidade atingida.

## Referências

BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. 3ª edição. Brasília. 2008. 236p.

BRASIL. Decreto nº 89.817, de 20 de junho de 1984. **Estabelece as instruções reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional**. Brasília, DF, 1984.

BRASIL. Lei nº 10.406, de 10 de Janeiro de 2002. **Institui o Código Civil**. Brasília, DF, 2002.

CELESTINO, V. S.; PHILIPS, J. W. Avaliação altimétrica para projetos de usinas hidrelétricas. **Revista Brasileira de Cartografia**: nº 67/3, 2015, p. 507-525.

ELETROBRAS CENTRAIS ELÉTRICAS S.A. **Diretrizes para Elaboração de Projeto Básico de Usinas Hidrelétricas**. 1999. 95p.

MOREIRA, J. R.; POOLE, A. D. Hydropower And It's Constraints. **In Renewable Energy**. Washington: Island Press 1993. p. 73 – 119.