

Nota Técnica nº 024/2013/SPR
Documento: 00000.026832/2013

Em 09 de setembro de 2013.

Ao Senhor **Superintendente de Planejamento de Recursos Hídricos**

Assunto: **Base de Dados de Reservatórios**

I. ANTECEDENTES

1. Em setembro de 2012 foi iniciado o desenvolvimento de uma base de dados sobre reservatórios para suportar os trabalhos da Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos.
2. Como antecedente deste trabalho, uma planilha de reservatórios de usinas hidroelétricas havia sido desenvolvida, reunindo dados fornecidos pela Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL (provenientes do SIGEL), que foram trabalhados em conjunto com informações obtidas da Base de Dados Técnicos do Operador Nacional do Sistema Elétrico e de outras fontes. A planilha havia sido aberta por região hidrográfica e por unidade de planejamento hídrico, a menor subdivisão geográfica do Plano Nacional de Recursos Hídricos.
3. Os dados sobre usinas reunidos na planilha consistiam em dados físicos de seus reservatórios, tais como níveis, áreas, volumes e tipo de operação (a fio d'água ou com operação do reservatório), dados físicos das usinas, tais como potência e nível de jusante e dados administrativos, como estágio do empreendimento, proprietário, datas de enchimento e operação, links com BDs ANEEL, procedimentos legais de autorização, dominialidade e inserção em programas estratégicos, como o PAC – Programa de Aceleração do Crescimento.
4. Além dos dados de reservatórios, foram incorporados à planilha outros, tais como a vazão média de longo prazo no local da mesma e as populações das unidades de planejamento, tendo sido ainda calculados sobre eles novos parâmetros, tais como o tempo de enchimento do reservatório.
5. A pasta de trabalho Excel resultante possuía a planilha com o detalhamento e planilhas resumo por unidade de planejamento e por região hidrográfica, com as populações

correspondentes. Além das planilhas, o trabalho inicial incluiu *shapefiles* auxiliares, como um mapa de espelhos de água naturais e artificiais no Brasil e os *shapefiles* da hidrografia brasileira e de sua divisão político – administrativa, além do próprio *shapefile* com as localizações das usinas, provenientes da ANEEL.

6. O principal problema encontrado no desenvolvimento da planilha foi a discrepância de dados técnicos, principalmente os referentes a reservatórios, entre os recolhidos da ANEEL e os provenientes do Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS.

II. ETAPAS PARA O DESENVOLVIMENTO DA NOVA BASE

7. O foco inicial do trabalho de desenvolvimento da base de reservatórios, tal como no desenvolvimento da planilha que o precedeu, foram os reservatórios das usinas hidroelétricas. Em uma etapa seguinte serão acrescentados os reservatórios construídos com outras finalidades.

8. O planejamento do trabalho previu as seguintes fases:

- Compreensão dos dados recolhidos e sua estrutura;
- Transposição dos dados da planilha para BD (baseado inicialmente nos dados da ANEEL, sem entrar no mérito de qual volume seria o correto);
- Desenvolvimento de uma nova estrutura para o BD, suportando usinas, barragens, reservatórios e seus relacionamentos;
- Verificação e correção da localização geográfica e hídrica do empreendimento;
- Desenvolvimento de uma estrutura de pesquisa topológica em base de dados;
- Contatos com ANEEL e ONS para esclarecimentos sobre as incongruências nos dados;
- Compatibilização com outros usuários de dados semelhantes na ANA.

III. TRANSPOSIÇÃO PARA BASE DE DADOS

9. Uma vez compreendida a estrutura original da planilha, procurou-se dar integridade aos dados nela presentes, antes de prosseguir com as etapas seguintes. A integridade é muito difícil de ser obtida em uma planilha, já que os dados podem ser alterados manualmente, sem que isso gere erros. Em um banco de dados, por outro lado, uma vez que os relacionamentos são explicitados, a violação da estrutura se torna impossível. Desta forma, o trabalho inicial foi o de reestruturar os dados, para em seguida importa-los em uma base de dados Access, com relacionamento explícito.

10. Uma das partes problemáticas foi a referente às unidades de planejamento hídrico nas quais foram localizadas as usinas e reservatórios e sua agregação em regiões hidrográficas. Para corrigir este relacionamento foram recuperados os mapas das unidades de planejamento hídrico e das regiões geográficas e reconstituídas na base de dados em tabelas os relacionamentos

correspondentes. Em que pese todo este trabalho de reestruturação lógica, optou-se ao final por abandonar o conceito de localização de usinas em unidades de planejamento, por considerar que os critérios de alocação de volumes de reservação, ou de outras variáveis, às unidades de planejamento não contribuíam para a utilidade da base. A estruturação mais importante foi a reconstituição, por agregação, de uma tabela de usinas e a atribuição de um número a cada uma delas.

IV. NOVA ESTRUTURA DE DADOS

11. Em qualquer tipo de análise hidrológica que se queira fazer sobre os dados da base, o aspecto mais importante no que diz respeito à localização das usinas e reservatórios é o hidrográfico, isto é, em que bacia uma usina ou reservatório se encontra ou em que ponto da rede hidrográfica ele interfere. Esta é uma questão muito difícil de ser respondida, se a cada usina for associado apenas um ponto.

12. Um exemplo desta impossibilidade é o da usina de Capivari – Cachoeira. A barragem da usina está no rio Capivari, pertencente à bacia do Ribeira do Iguape. A usina se localiza a mais de 20 km da barragem e deságua no rio Cachoeira, cuja foz, na baía de Paranaguá, dista mais de 100 km da foz do Ribeira do Iguape. A operação da usina faz, na verdade, uma transposição de água entre duas bacias. Nestes casos, qual deveria ser o ponto geográfico correspondente à usina: o local da barragem ou o da casa de força? Do ponto de vista hídrico, como representar a transposição?

13. Ainda que a transposição de bacias não seja o aspecto mais comum em uma usina hidroelétrica, a separação entre o ponto de barramento e o de restituição ao corpo hídrico é a regra para a maior parte das pequenas usinas, com a transformação de um trecho do rio naquilo que se chama uma “alça seca” ou de vazão reduzida. É de todo interesse para a gestão de recursos hídricos a representação desta situação.

14. Outra questão importante é que o cadastro de usinas, tal como registrado no SIGEL da ANEEL e importado pela ANA, se refere não só a usinas, com seus reservatórios associados, como também a usinas separadamente, reservatórios sem usinas e estações elevatórias. Assim, por exemplo, estão registradas como usinas Billings, do antigo sistema São Paulo Light, ou Santana (no rio Pirai), do antigo sistema Rio Light. Ambas são apenas reservatórios, dentro de um sistema complexo de transposição de bacias. No primeiro caso há uma usina associada, representada à parte na lista, que é Henry Borden. No caso de Santana, nem usina há, pois o reservatório é um mero ponto de passagem no esquema de transposição, que passa ainda pelo reservatório de Vigário e termina na usina de Nilo Peçanha (Figura 1).

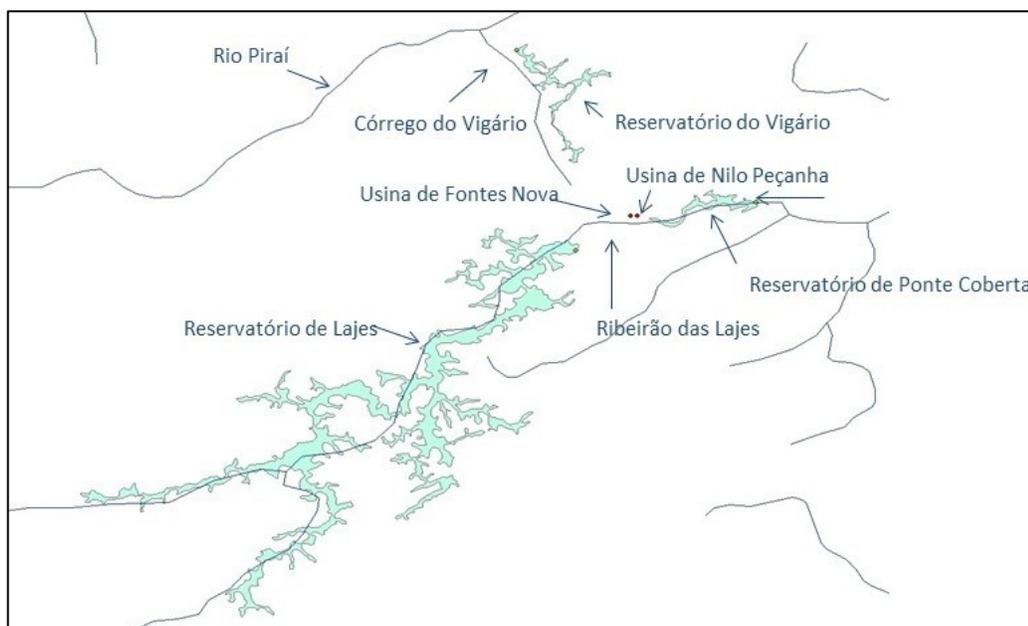


Figura 1 – Parte do Complexo Lajes – Nilo Peçanha

15. A associação implícita de uma usina a um reservatório é um outro ponto fraco da estrutura atual, que junta em um mesmo registro dados dos reservatórios e dados da usina. Em muitas situações, um único reservatório abastece mais de uma usina. Este é o caso, por exemplo, do reservatório de Moxotó, que abastece a usina de Moxotó, de baixa queda, e a usina de Paulo Afonso IV, aproveitando a queda referente à cachoeira homônima (Figura 2).

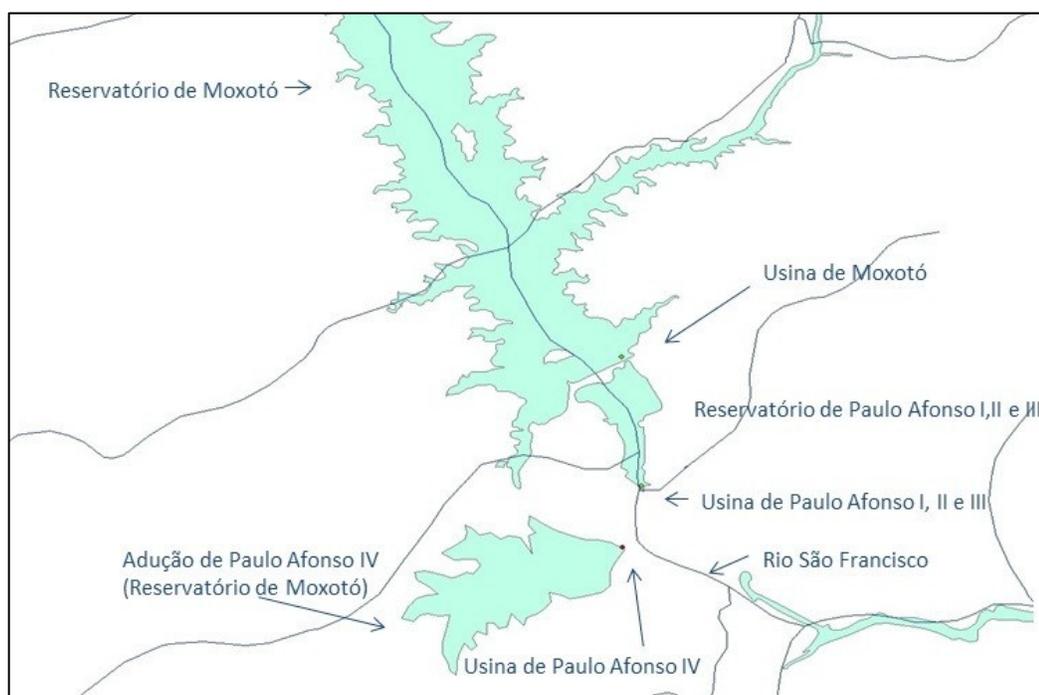


Figura 2 – Complexo Moxotó – Paulo Afonso

16. Casos como estes vão se tornar cada vez mais frequentes em arranjos de geração hidroelétrica com a usina distante do ponto de captação, que geram, a jusante de uma barragem, uma alça de rio com vazão reduzida. Com a exigência de manutenção de uma vazão residual a jusante da barragem, pode-se construir, além da casa de força principal, aproveitando a queda total desejada, uma casa de força auxiliar junto ao barramento para transformar esta vazão residual em energia.

17. Com vistas a sanar as restrições do modelo atual, foi implementado um novo modelo de base de dados, o mais simples possível, que permite representar os relacionamentos hídricos com mais propriedade. Para isso foram segregados em tabelas distintas Reservatórios, Barragens e Usinas, representados geograficamente por um ponto com suas coordenadas na tabela. Desta maneira a base se torna mais “portátil”, não exigindo um sistema de informações geográficas para sua divulgação, retendo, porém, as informações sobre sua localização.

18. Na escala do milionésimo, usada para representar a hidrografia, barragens e usinas podem ser representadas por pontos. No caso do reservatório, a forma que melhor lhe representaria é a do polígono correspondente a seu espelho d’água. Ainda assim, um ponto localizado em seu centroide dá sua localização geográfica aproximada. O ponto da barragem, onde seu eixo cruza a linha do rio, representa hidraulicamente o ponto de retenção da água. O ponto da usina, a menos do canal de fuga, representa hidraulicamente o ponto onde a água é restituída ao corpo hídrico. Uma vez referenciados à hidrografia, estes pontos podem, em princípio, ser relacionados em consultas topológicas (montante e jusante) e a informação de suas tabelas pode ser listada e, quando adequado, agregada topologicamente em qualquer nível.

19. Na tabela de reservatórios constam informações de localização, níveis, volumes, áreas e outros dados administrativos. Nela são também relacionados por números o eventual reservatório de onde receba contribuição e o eventual reservatório para onde contribua. Os canais e elevatórias que conduzam estas contribuições não são representados no modelo proposto, nada impedindo que venham a ser em versões subsequentes. A barragem principal do reservatório tem o mesmo número correspondente a ele. No modelo inicial não são representadas barragens auxiliares.

20. Além do ponto do centroide, temos a representação do espelho d’água do reservatório na forma de *shapefile*. Estes polígonos foram inicialmente extraídos do mapa de espelhos d’água, tendo como atributos o nome do reservatório, a origem da informação (que imagem de que satélite) e uma coluna com o número do reservatório.

21. Na tabela de barragens estarão inicialmente apenas dados de sua localização geográfica e hidrográfica. No futuro esta tabela poderá ter colunas com suas características físicas. A localização hidrográfica se faz na forma do curso de água (código Pfafstetter), distâncias ao longo do rio (em km) até a foz do curso d’água e até a foz da bacia no mar e código do trecho onde se encontra (código Pfafstetter da otobacia correspondente, sendo esta a bacia de contribuição direta ao respectivo trecho de rio da hidrografia).

22. Na tabela de usinas constam dados de localização geográfica e hidrográfica, nível de jusante, potências e outros administrativos. Nela está também relacionado por seu número o reservatório onde a usina faz sua captação. Tal como na tabela de barragens, a localização hidrográfica (hidrorreferenciamento) se faz na forma do curso de água (código Pfafstetter), distâncias, ao longo do rio (em km), até a foz do curso d'água e até a foz da bacia no mar e código do trecho onde se encontra (código Pfafstetter da ottobacia correspondente).

V. VERIFICAÇÃO E CORREÇÃO DA LOCALIZAÇÃO DOS EMPREENDIMENTOS

23. Procedeu-se a verificação e a correção da localização geográfica para todas as usinas em operação e construção através do aplicativo Google Earth, sempre que imagens na resolução adequada estavam disponíveis. Nas imagens foram levantados os arranjos hidráulicos das usinas (barragem e usina integrada ou separada), extraídas imagens e coordenadas das barragens e das usinas e extraídas imagens do reservatório, com grid, para digitalização em fase posterior, nos casos em que a mancha não conste do *shapefile* de espelhos d'água.

24. Nas Figuras 3 e 4, abaixo, estão as imagens da barragem e usina de Fumaça.

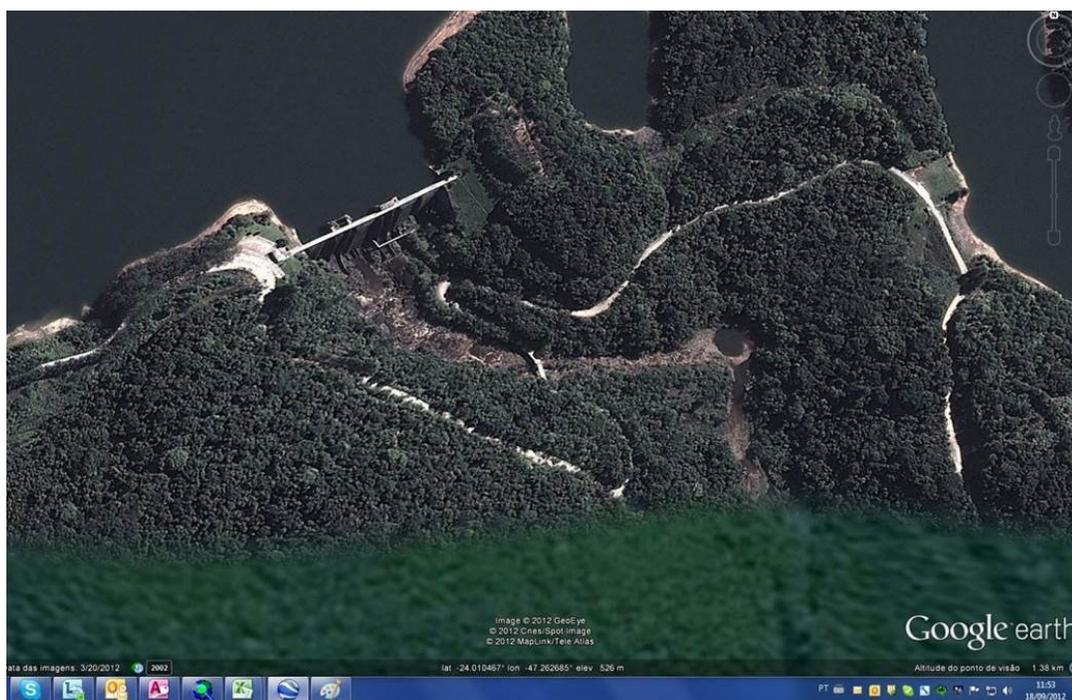


Figura 3 – Barragem de Fumaça

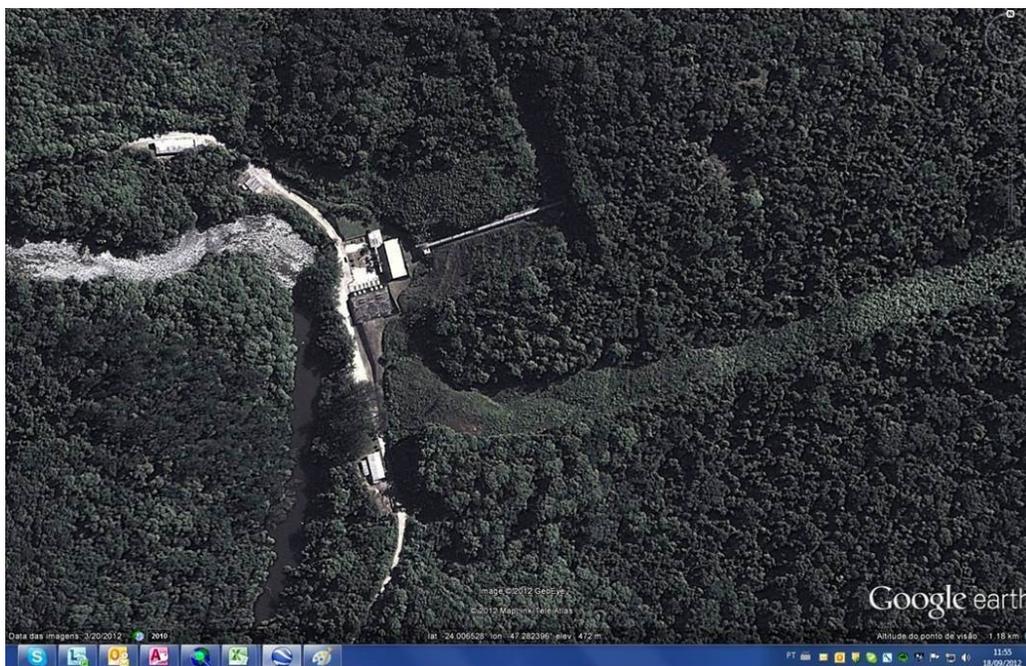


Figura 4 – Usina de Fumaça

25. A construção do *shapefile* de reservatórios foi feita a partir do *shapefile* de espelhos d'água e das coordenadas das barragens, em ArcGIS, por busca dos polígonos próximos a cada ponto e filtragem dos erros.

VI. SISTEMAS COM PESQUISA TOPOLÓGICA

26. A pesquisa topológica em base de dados, como já mencionado, é possibilitada pelo hidrorreferenciamento, isto é, localização na árvore da rede hidrográfica dos pontos correspondentes às entidades objeto da pesquisa. Quando, além da hidrografia integrada, é disponibilizado um mapa de áreas de contribuição direta a trechos e outros de características espaciais, a pesquisa topológica pode dar resposta a questões como:

- Que usina ou postos fluviométricos ou pontos de captação ou de descarga existem a jusante de um ponto na hidrografia?
- Que usina ou postos fluviométricos ou pontos de captação ou de descarga existem entre dois pontos na hidrografia?
- Qual a forma e características de uma bacia a montante de um ponto de confluência?

o que permite um melhor entendimento de causas e efeitos na análise hidrológica de uma região.

27. A pesquisa topológica pode ser feita por consultas convencionais (SQL), normalmente curtas, desde que esteja disponível uma hidrografia integrada e os pontos de interesse em rios estejam a ela referenciados (hidrorreferenciados), permitindo ainda a agregação de

características de entidades referenciadas aos rios (p. ex., volume total de reservação) a montante ou a jusante de um ponto qualquer da hidrografia.

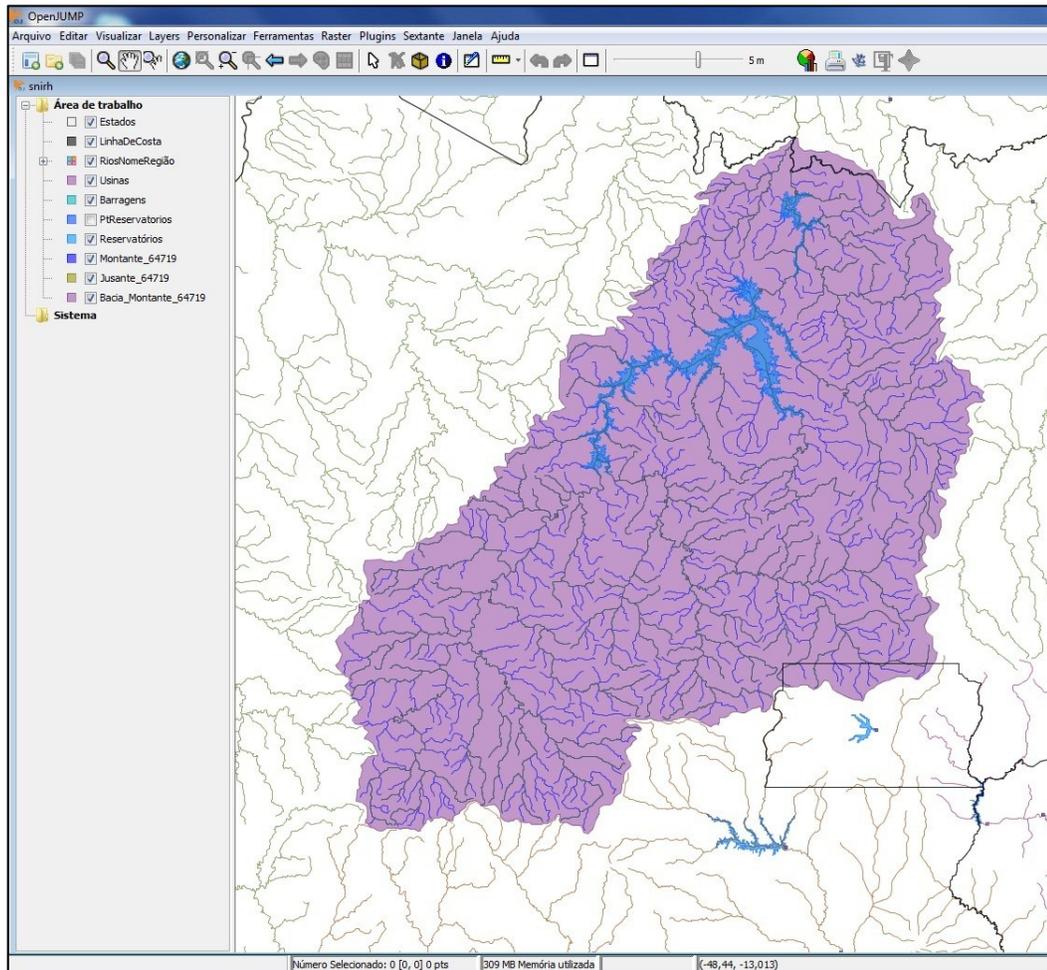


Figura 5 – Consultas Bacia a Montante e Trechos a Montante

28. Sistemas com esta capacidade devem idealmente ser desenvolvidos sobre uma Base de Dados Geográfica, tal como: ArcGIS SDE sobre um Gerenciador de BD qualquer; Oracle Spatial; ou PostGIS sobre o Gerenciador de BD PostgreSQL; para tomar proveito de toda a flexibilidade das consultas padronizadas inerentes às bases de dados relacionais e sua linguagem de programação (SQL).

29. Além da mera representação das feições geográficas, as bases de dados espaciais têm a capacidade de análises espaciais, estendendo o escopo das consultas possíveis a questões tais como:

- Qual a vegetação em uma bacia a montante de uma confluência?
- Que tipos de solos existem em um raio de 10 km em torno de uma bacia a montante de uma confluência?

30. Gerenciadores de bases de dados espaciais de código livre, tais como o PostgreSQL / PostGIS permitem que se desenvolva e disponibilize produtos de nível profissional com capacidade de pesquisa topológica, em situações com restrições de recursos financeiros. Sistemas completos com visualização gráfica em desktop podem ser desenvolvidos, a partir dos dados da base, também baseados em software de código aberto, como por exemplo o SIG OpenJUMP. Uma característica muito interessante deste programa, em que pese sua limitação quanto ao tamanho das aplicações, é a de permitir uma capacidade quase total de consultas sobre a base PostGIS, que passa a funcionar como repositório único dos dados. Sistemas web com visualização gráfica baseados no repositório também podem ser desenvolvidos usando ferramentas abertas, tais como o MapServer ou o GeoServer.

31. Por estas características, aliadas a sua robustez e capacidade de desenvolvimento de sistemas de grande porte, em nada inferior a soluções profissionais pagas, porém com custo zero, foi escolhida a plataforma PostGIS para a implantação da base de dados de reservatórios.

32. Sobre a base de dados implementada em PostGIS foram desenvolvidas três consultas topológicas, na forma de funções (também chamadas *stored procedures*), que, tomando como único parâmetro o código Pfafstetter do trecho (na verdade, o código da bacia de contribuição direta a ele), dão como resposta:

- O conjunto de trechos a montante do trecho
- O conjunto de trechos a jusante do trecho
- A bacia a montante do trecho

VII. HIDRORREFERENCIAMENTO DE PONTOS

33. A localização hídrica, ou hidrorreferenciamento, de um ponto consiste basicamente na localização do ponto na rede hidrográfica. Para tanto o *shapefile* da rede hidrográfica integrada, ou H.Integrada, foi inicialmente trazido para dentro da base de dados PostGIS, usando as facilidades disponíveis no administrador do PostgreSQL, de importação e exportação de *shapefiles*. Foi em seguida também importado o *shapefile* de ottobacias.

34. Consultas foram desenvolvidas, em PostGIS, que identificam o trecho mais próximo de cada ponto, a distância linear ao longo do trecho, a distância até a foz do curso de água (no conceito Pfafstetter) e até a foz da bacia e o ponto sobre a hidrografia mais próximo do ponto. Estes valores são gravados nas tabelas de barragens e de usinas, que passam então a estar hidrorreferenciadas e aptas, portanto, a participar de consultas topológicas. Na Figura 6 são mostrados pontos com suas coordenadas originais, bem como os pontos correspondentes sobre a hidrografia.

35. É interessante observar que os pontos sobre a hidrografia são normalmente menos precisos que os pontos originais, já que a precisão da identificação do ponto original (assim como a da mancha do reservatório) é bem superior à da hidrografia no milionésimo. O papel fundamental dos pontos, no entanto, é o de marcadores da topologia hídrica das entidades que eles representam. Na Figura 7 é apresentado um extrato da tabela de usinas, com a informação de entrada da consulta de hidrorreferenciamento (coordenadas e código do rio) e com o resultado do processo.

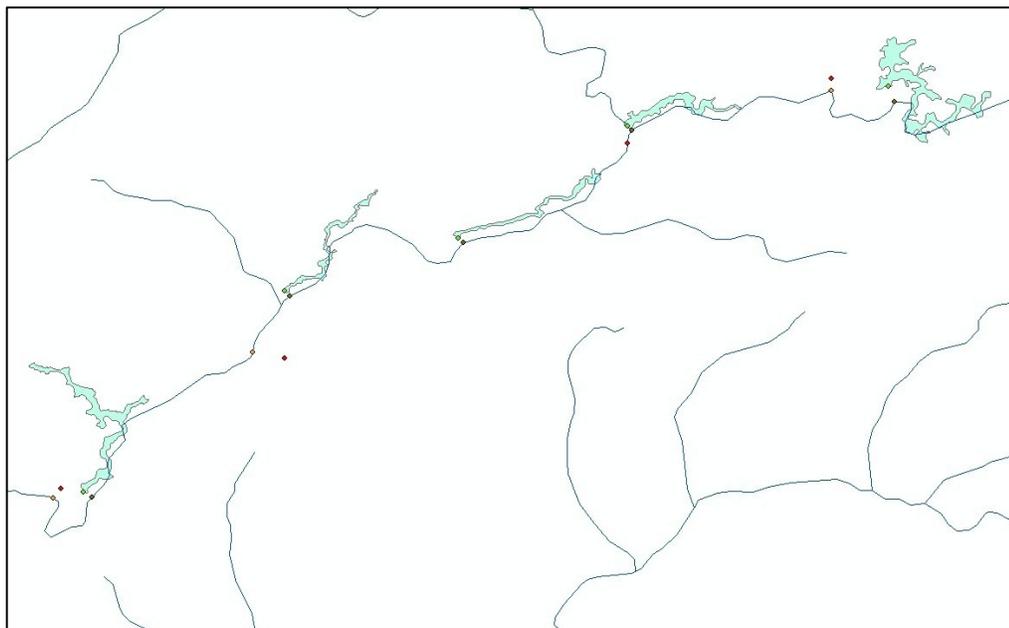


Figura 6 – Barragens e Usinas – Pontos Originais e Hidrorreferenciados

NumPlanAneel	Nome	Nom_Alt	Lat_Usina	Long_Usina	Nome_Rio	Cd_Num_Rio	Cd_Ott_Cur	Cd_Ott_Bac	Dist_CdAg	Dist_Bac
2	Água Branca		0,955955	-52,024881	Amapari	3982_0	3982	398237	101,685217112379	389,785217112379
3	Água Clara		-20,416667	-52,916667	Verde	8454_0	8454	845439	150,612817201858	2450,27281720186
4	Água Limpá		-19,017	-51,283	Corrente	84914_0	84914	8491411375	79,4597900314617	2661,21979003146
5	Água Limpá		-15,371389	-53,369722	das Mortes	68_0	68	687573	709,622792180924	2153,58279218092
6	Água Vermelha	José Ermirio c	-19,851111	-50,345556	Grande	848_0	848	84815135	81,5461263887071	2549,15612638871
7	Águas de Chapecó		-27,049893	-52,966667	Chapecó	7878_0	7878	787811	9,10038439245494	1329,23038439246
8	Aimorés		-19,501	-41,027	Doce	76_0	76	76193	149,28001867491	149,28001867491
9	Alecrim		-24,105	-47,477	Juquiá-Guaçu	7744_0	7744	7744911	74,7746221402917	157,364622140292
10	Aliança		-16,865	-42,117778	Araguai	7582_0	7582	758219	35,3633513198465	483,163351319847
11	Almenara		-16,221944	-40,746389	Jequitinhonha	758_0	758	758153	255,899016920162	255,899016920162
12	Alvorada Baixo		-19,086442	-51,145442	Corrente	84914_0	84914	8491411339	58,1646340199073	2639,92463401991
13	Amador Aguiar I	Capim Branc	-18,778	-48,167	Araguari	8498_0	8498	8498319	120,349799148361	3041,04979914836
14	Amador Aguiar II	Capim Branc	-18,66	-48,437	Araguari	8498_0	8498	8498311	62,8031856630086	2983,51318566301
15	Americana		-22,699028	-47,284167	Atibaia	84664_0	84664	846641	0,225308842119509	3012,51530884212
16	Angueretá		-19,163056	-44,675556	Paraopeba	7496_0	7496	7496339	127,373765543476	2360,31376554348
18	Apolônio Sales	Moxotó	-9,3575	-38,208333	São Francisco	74_0	74	7411791	270,535351515706	270,535351515706
19	Araguainha		-16,8875	-53,021111	Araguaia	6_1	6	699771	2344,1971868462	2344,1971868462
20	Araguanã		-6,616667	-48,65	Baixo Araguaia / To	6_1	6	65155	740,870387072035	740,870387072035
21	Ari Franco		-18,301	-51,325	Claro	84918_0	84918	8491833	139,398414573203	2753,2984145732
22	Arraia		-12,425833	-47,451389	Palma	6462_0	6462	6462175	73,3197728467172	1748,94977284672
23	Baixo Iguaçu		-25,5	-53,666667	Iguaçu	842_0	842	8421391	180,758989524938	1840,11898952494
24	Baixo Verde		-20,962492	-52,275466	Verde	8454_0	8454	8454171	52,8579741053949	2352,51797410539
25	Balbina		-1,915833	-59,473333	Uatumã	458_0	4582	4582551	229,36577766973	1407,49577766973
26	Bambu I		0,792	-52,608333	Araguari	398_0				
27	Bananeyras		-15,11641	-44,099988	São Francisco	74_0	74	74713	1661,12599641681	1661,12599641681
28	Baranhão		-20,667778	-48,333333	Pardo	8484_0	8484	8484157	75,9750929191917	2911,14509291919
29	Bariri	Alvaro de Sou	-22,153333	-48,7525	Tietê	846_0	846	8465393	390,862152417629	2771,03215241763
30	Barra		-24,029	-47,356	Juquiá-Guaçu	774492_0	774492	774492	0	176,74
31	Barra Bonita		-22,519444	-48,534444	Tietê	846_0	846	8465913	453,171538849505	2833,3315388495
32	Barra do Braúna		-21,45	-42,4	Pomba	7726_0	7726	7726155	48,049837417634	170,139837417634

Figura 7 – Tabela de Usinas com Dados de Entrada e Saída do Hidrorreferenciamento

VIII. OUTRAS INFORMAÇÕES AGREGADAS À NOVA BASE DE DADOS

36. Além dos planos de informação ligados à topologia hídrica, que são a hintegrada e as ottobacias, foram acrescentados à base alguns outros planos de informação. Para complementar a hidrografia, foram acrescentadas a linha de costa e o traçado do rio Paraná a jusante do Brasil. Foram acrescentadas também informações de divisão administrativa, como o mapa de estados, dos municípios em sua configuração de 2000 e das localidades na versão 2010, obtidas no site do IBGE.

37. Outras duas informações de grande importância foram acrescentadas à base. A primeira delas, de grande importância hidrológica, é o inventário das estações fluviométricas, extraídas do Hidro em uma versão de janeiro de 2012. Das 10945 estações do inventário, 8130 foram hidrorreferenciadas, por estarem localizadas em rios representados e com nome na base na escala do milionésimo. A maior parte das 2815 restantes poderá ser representada futuramente, após serem identificados os nomes de seus rios com base em mapas de maior escala. Algumas poucas não poderão ser hidrorreferenciadas nesta escala por não estarem seus rios representados.

38. O segundo plano de informação de grande importância acrescentado à base é o dos setores censitários de 2010, com sua população e número de domicílios, desenvolvido por união dos mapas de setores censitários dos estados, obtidos no site do IBGE. Sobre este plano de informação foi produzido outro mapa, de aglomerados urbanos, por agregação dos setores censitários urbanos e identificação do polígono resultante pelos pontos das localidades IBGE. Este novo plano de informação foi também hidrorreferenciado, tendo sido produzida uma tabela de referência cruzada entre trechos da hidrografia e os núcleos.

39. A informação agregada, além de contribuir para aumentar a consistência da base, uma vez que, por exemplo, nomes de postos fluviométricos, de cidades e de usinas se relacionam, aumenta o escopo da base, possibilitando seu emprego em estudos de planejamento de recursos hídricos.

40. Usando as funções de consulta topológica e os planos de informação hidrorreferenciada, diversas consultas SQL foram desenvolvidas, como por exemplo:

- Usinas a montante de um ponto
- Núcleos urbanos a jusante de um ponto
- Setores censitários de uma bacia a montante
- Postos fluviométricos a jusante de um ponto

41. Na verdade consultas topológicas podem ser desenvolvidas envolvendo qualquer informação espacial presente na base. Em se tratando de informação relacionada à rede hidrográfica, é suficiente para tanto que a mesma tenha sido previamente hidrorreferenciada. No caso de informação espacial, qualquer plano de informação pode ser relacionado com a bacia a montante,

usando a capacidade de consultas espaciais do PostGIS. A Figura 8 apresenta a expressão gráfica de algumas destas consultas.

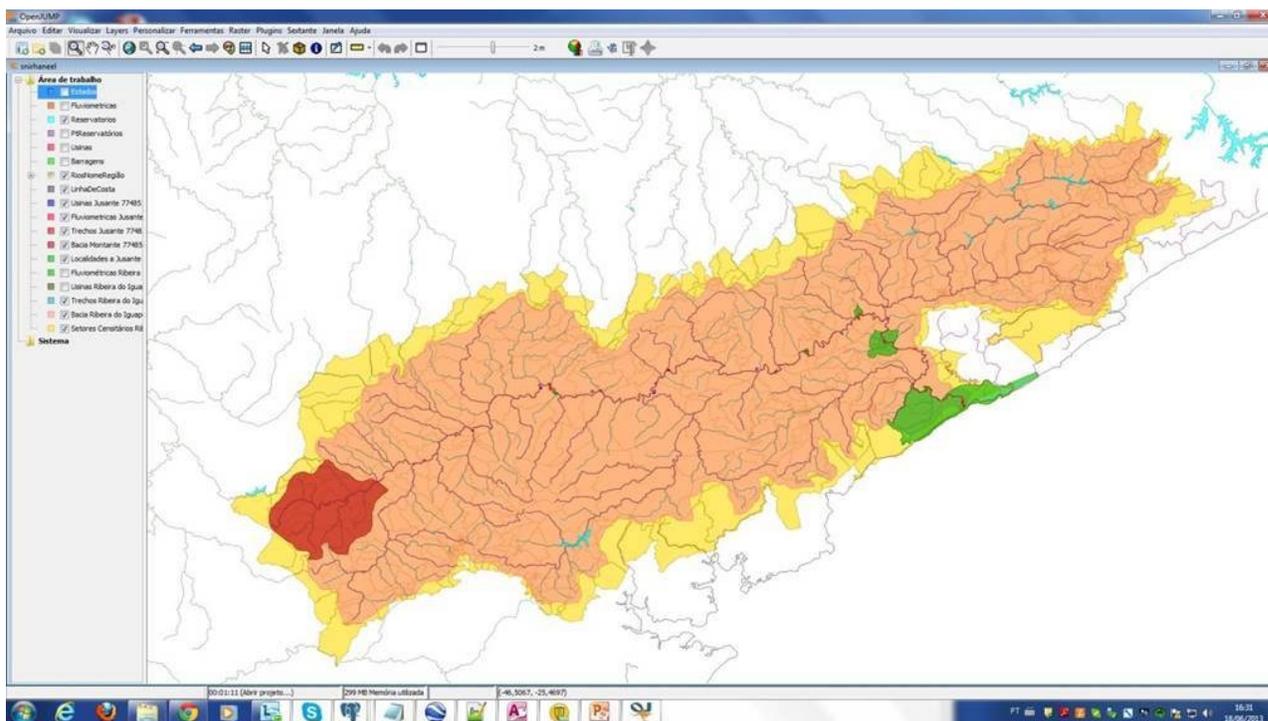


Figura 8 – Expressão Gráfica de Consultas Topológicas na Bacia do Ribeira do Iguape

IX. DIGITALIZAÇÃO DE RESERVATÓRIOS

42. Conforme já mencionado, a origem do plano de informação reservatórios, com o contorno de suas áreas de inundação, foi um *shapefile* existente, de espelhos d'água naturais e artificiais no Brasil, obtida a partir de imagens Landsat. Os polígonos dos reservatórios foram identificados no *shapefile* por cruzamento com um buffer em torno dos pontos de barramento, em ArcGIS, e posterior exame manual. Os polígonos selecionados foram então extraídos e compuseram o *shapefile* de reservatórios, a qual foi importada na base PostGIS.

43. Os polígonos de reservatórios de usinas em operação que não estavam presentes no *shapefile* original de espelhos d'água foram digitalizados a partir das imagens de reservatórios identificadas nas imagens disponíveis por meio do aplicativo Google Earth, na fase de busca das usinas. Para tanto foi desenvolvida uma técnica para a digitalização dos reservatórios, que permitiu que das 180 usinas em operação incorporadas à base no primeiro grupo, 172 tivessem o contorno de seus reservatórios descritos. Ao todo foram digitalizados por este meio os polígonos dos lagos de 47 reservatórios.

44. As imagens de reservatórios foram extraídas do Google Earth, com um grid superposto que possibilita seu georreferenciamento (Figura 9). Os reservatórios de menor porte foram extraídos em apenas uma imagem e os de grande porte como diversas imagens, extraídas com certa sobreposição.



Figura 9 – Imagem de Reservatório com Grid para Digitalização

45. Uma vez identificado o pedaço do grid sobre a área a ser digitalizada, as coordenadas correspondentes a dois pontos contíguos com coordenadas definidas foram transpostas para uma planilha Excel, na qual foi construída a lista completa dos pontos de cruzamento do grid.

46. A planilha foi então importada como layer em ArcMap, onde foi transformada num grid de pontos. Em seguida a imagem foi trazida como layer do ArcMap e, com ajuda dos pontos do grid (tomando o cuidado de tomar apenas aqueles que estivessem sobre o reservatório, para evitar distorções causadas pelo relevo), foi registrada. Sobre a imagem registrada foi então digitalizado visualmente o polígono correspondente àquele pedaço do reservatório.

47. A etapa final foi a união dos diversos pedaços em um único polígono, o que foi feito em PostGIS, por não estar a respectiva ferramenta habilitada na versão ArcView do ArcGIS disponível. Pela mesma razão, foi produzida também em PostGIS, a coordenada do centroide do reservatório que o localiza na tabela de reservatórios. A coordenada obtida foi então inserida na tabela, substituindo a coordenada preliminar, correspondente ao ponto de barramento.

X. ETAPAS JÁ REALIZADAS DO TRABALHO

48. Como já mencionado, a fase inicial da construção da base de dados envolveu o retrabalho sobre planilha original, com os dados obtidos da ANEEL e do ONS, a agregação e numeração dos reservatórios / usinas, a crítica sobre as coordenadas, a extração e análises de imagens no Google Earth, a transformação para o novo modelo de dados, a localização administrativa e o hidrorreferenciamento dos pontos de interesse.

49. Não foram incorporados novos reservatórios / usinas nesta fase, além de um ou dois que foram encontrados no cotejo com os dados disponíveis na Superintendência de Regulação - SRE e na Superintendência de Usos Múltiplos e Eventos Críticos - SUM. Nos contatos com estas Superintendências foi também constatado que o modelo de dados que atende a estas UORGs é idêntico ao que já estava na planilha original, a menos das curvas cota-área-volume, que poderá ser incluída em uma versão posterior da base, e das séries temporais, que não fazem parte do escopo deste trabalho (a base correspondente pode e deve ser ligada à base de reservatórios no futuro). Esta etapa envolveu em torno de 400 reservatórios / usinas.

50. Antes de um contato oficial com a ANEEL, foram pesquisados os dados disponíveis em seu website. Duas superintendências da ANEEL são mais diretamente ligadas a um cadastro de usinas e seus reservatórios. A fase de estudos e planejamento de geração hidroeétrica está a cargo da Superintendência de Gestão e Estudos Energéticos – SGH, que é a área que detém o conhecimento das usinas planejadas.

51. Para as usinas já outorgadas, estejam elas ainda em fase de licenciamento ambiental, em construção ou em operação, o cadastro correspondente é de atribuição da Superintendência de Concessões e Autorizações de Geração – SCG e se chama Banco de Informações da Geração – BIG. No website da ANEEL se encontram dados resumidos da base e uma relação das hidroeétricas de cada tipo (UHE, PCH ou CGH) em estágio de simples outorga, em construção ou em operação.

52. Desta relação foram extraídas as UHEs e PCHs em construção e operação e as UHEs outorgadas entre 1998 e 2013. Foi então feito um trabalho semelhante ao executado sobre os dados da planilha original de reservatórios, envolvendo pesquisa das coordenadas, extração de imagens Google Earth, inserção no novo modelo de dados, localização administrativa e hidrorreferenciamento. Neste processo foram acrescentadas à base cerca de 500 novas usinas / reservatórios. Foram ainda extraídas da relação da ANEEL dados de potência, proprietários, tipo de empreendimento e estágio de implantação envolvendo todas as 900 usinas / reservatórios. Por fim, foram extraídos do *shapefile* de espelhos d'água os reservatórios das usinas existentes incorporadas no processo que estivessem nele representados.

53. Do contato com a SRE e exame de seu acervo de dados, usado para a emissão de Declarações de Reserva de Disponibilidade Hídrica – DRDHs e de outorgas de direito de uso da

água em corpos d'água de domínio da União, tomou-se conhecimento da Ficha Técnica da ANA, uma planilha padronizada onde consta uma gama de características técnicas de cada empreendimento, envolvendo todos os dados técnicos registrados na base de reservatórios e diversos outros, de maior nível de detalhe, que podem ser de grande interesse em análises técnicas. Na verdade a Ficha Técnica da ANA é apenas um subconjunto da Ficha Técnica da ANEEL, padronizada pela SGH daquela instituição, de onde foram extraídos dados elétricos, entre outros, fora do escopo das atribuições da ANA.

54. Em função do grande potencial de informações presentes na Ficha Técnica e considerando ser ela um componente mandatário no processo de avaliação de projetos e estudos de usinas hidroelétricas pela ANEEL, decidiu-se incorporá-la à nova base de dados, como arquivo externo em formato pdf, tal como foi feito com as imagens extraídas do Google Earth. Foram extraídas preliminarmente e convertidas em pdf todas as fichas que estavam presentes no acervo da SRE.

55. Em uma reunião preliminar com a ANEEL, em que estavam presentes servidores da SGH e da SCG daquela agência, foram levantadas questões de sincronização das bases da ANEEL e da ANA, visando a manter o cadastro de reservatórios atualizado no que diz respeito a empreendimentos hidroelétricos, levando em consideração o papel focal da ANEEL no registro e autorização dos mesmos. Na discussão subsequente ficou patente a necessidade de um número chave que caracterize cada empreendimento de forma inequívoca e a possibilidade de transmissão de alterações da base provenientes da ANEEL, ou da base completa, em uma forma que se preste ao cotejo e incorporação dos dados automática em nosso cadastro.

56. Foi mencionado na reunião que a SCG estava em vias de produzir uma numeração única dos empreendimentos outorgados. Para os empreendimentos ainda em estudo, foi solicitado pela ANA que a SGH examinasse a possibilidade de atribuição de um número único que caracterize cada eixo de barramento planejado e o registro do ciclo de vida do mesmo, isto é, o registro das situações diversas que caracterizam a transformação dos eixos planejados, como por exemplo quando um projeto básico novo causa a eliminação de um ou dois eixos anteriormente planejados. No que diz respeito à transmissão automática de dados, o representante da ANEEL sugeriu que se agendasse uma segunda reunião, com a presença de um servidor da SGI – Superintendência de Gestão Técnica da Informação, mais ligado a estas questões.

57. Na segunda reunião com a equipe da ANEEL (da SGH, SCG e SGI) foi rerepresentada a estratégia de desenvolvimento da base e a própria base de dados, com consultas topológicas através do SIG OpenJump, que despertou grande interesse na equipe dessa instituição, não só pelas informações reunidas e pelas capacidades de consultas topológicas, como também pelo uso do PostGIS, cujo uso vem sendo objeto de consideração e estudo por parte daquela agência. Foi feita pela ANEEL uma solicitação de uma cópia da base em desenvolvimento.

58. Com relação à divulgação de informações por parte da ANEEL, foi explicado que a estratégia para isso é totalmente baseada no SIGEL, que é disponibilizado em três formas diferentes: em um sistema web com exibição das informações num mapa, com possibilidade de consulta individual ou por área das usinas e seus atributos; na forma de um arquivo kmz, que disponibiliza informação semelhante em ambiente Google Earth; ou em download dos *shapefiles* pelo sistema web. Foi solicitado pela equipe da ANA que fosse acrescentado no SIGEL um campo com o início de operação do empreendimento. Foi também solicitada a disponibilização, pela ANEEL, das Fichas Técnicas de todos os empreendimentos licenciados pela agência após a adoção deste padrão, para incorporação em nossa base.

59. Foi informado na reunião que um novo SIGEL estava para ser lançado e que as informações nele existentes também estavam sendo revistas. De fato, uma semana antes da reunião, sabedores da disponibilidade do kmz de usinas, ele foi baixado por nós (todas as UHEs e PCHs em todos os estágios de implantação) e interpretado. Observou-se que o conjunto montava a em torno de 1500 aproveitamentos. Uma semana após a reunião tornamos a baixar o mesmo conjunto, tanto em kmz como em *shapefile*, que passou a envolver um número de em torno de 2600 UHEs e PCHs.

60. Sobre este universo de aproveitamentos foi feito um trabalho extensivo de equiparação com as 900 usinas já incorporadas na base de dados e checagem de coordenadas, tendo sido verificado que na grande maioria dos casos as coordenadas definidas pela equipe da ANA estavam melhor determinadas. Nos casos em que as coordenadas oriundas do SIGEL estavam mais adequadas, as coordenadas da base de dados da SPR/ANA foram corrigidas. Para esta verificação foram usadas tanto as imagens Google Earth dos empreendimentos existentes como as informações existentes em processos de outorga de potencial hidrelétrico na ANEEL e de outorga de uso de água, na maioria dos casos em autoridades estaduais.

61. Feita a checagem de coordenadas, com registro das inconsistências e eliminação dos registros em duplicata na base do SIGEL, foi regerada a base, com a informação locacional da base SPR/ANA e os atributos da ANEEL. Sobre esses foram corrigidos os atributos com a informação da ANA, nos casos em que a informação correspondente no SIGEL estava zerada.

62. Em seguida a base completa, com mais de 2600 registros, foi processada para a identificação, por proximidade e pela informação do nome do rio, do código do nome do rio onde ela deveria ser hidrorreferenciada. Neste processo, apenas um pequeno número (em torno de 30) de aproveitamentos não foram associados a rios, normalmente por estar a coordenada muito afastada do mesmo e em poucos casos pelo rio aparentemente não estar representado na hidrografia na escala do milionésimo. Foi então feito o hidrorreferenciamento dos pontos e o registro do processo nas tabelas de barragens e de usinas na base. Em uma etapa final será verificada novamente e eventualmente corrigida a localização das barragens e usinas em municípios.

63. Com relação à discrepância de dados entre ANEEL e do ONS, foi agendada uma reunião com técnicos da área de Hidrologia do ONS. Lá foi apresentado o projeto da base de reservatórios e a base em si, que novamente despertou grande interesse, tendo sido feito um pedido de disponibilização da mesma. Quanto à discrepância entre dados da ANEEL e do ONS, foi explicado que os dados necessários para a operação hidroenergética do sistema exigem um nível de detalhe maior que os requeridos no processo de concessão do mesmo. Assim, por exemplo, uma usina a fio d'água pode ser registrada na ANEEL com um único nível de montante. Já para o ONS é necessário o conhecimento da variação natural de níveis em função das condições hidrológicas, por ser este dado importante para o cálculo energético.

64. Durante a discussão da necessidade de uma numeração de empreendimentos, os técnicos do ONS apresentaram uma forma de numeração que tem sido adotada, tanto por eles como pela Empresa de Pesquisa Energética – EPE, para a identificação dos empreendimentos. Em seguida nos foi enviado um diagrama esquemático da EPE, com um conjunto de usinas, planejadas, em construção ou já em operação, identificadas pela numeração adotada, além de uma planilha, com nomes e números dos empreendimentos.

65. Para atualização dos dados referentes a níveis, áreas e volumes, foi salientado pelo ONS estar em vigor um acordo de cooperação entre eles e a ANA, administrado pela SUM, dentro do qual foi disponibilizado à ANA um acesso às bases de dados do operador, onde consta a informação mais atualizada. Em uma próxima etapa, serão buscados os dados do ONS, acessíveis pela SUM, utilizando para isso a própria numeração fornecida pelo operador, que será adicionada à nova base de dados de reservatórios da SPR.

XI. PERSPECTIVAS FUTURAS

66. Serão agendadas reuniões com a ANEEL e o ONS onde serão disponibilizadas as informações existentes na base de dados de reservatórios da SPR/ANA. No caso da ANEEL, será disponibilizada também uma tabela de análise das coordenadas dos empreendimentos no SIGEL e de duplicações encontradas na base, além de uma tabela, fruto de consulta na base, relacionando todas as usinas brasileiras classificadas topologicamente pelo critério de Pfafstetter (por curso d'água Pfafstetter e, dentro de cada um, de jusante para montante), extremamente útil para a verificação de duplicações, omissões ou má localização.

67. O trabalho restante para a constituição da base envolve a digitalização dos polígonos de 396 reservatórios de usinas em operação que ainda não estão representados na tabela reservatórios. É importante notar que nem todos os polígonos terão que ser digitalizados, já que em alguns casos eles não existem, pois a captação tem, no lugar da barragem, um simples aprofundamento de canal no topo de uma queda d'água.

68. Recomenda-se que um trabalho de mesma natureza do que foi realizado para as usinas e seus reservatórios seja realizado sobre os reservatórios construídos com outras finalidades precípuas. Para tanto deverão ser buscados os dados desta natureza, reunidos pela SUM, referentes a um conjunto estimado em 500 reservatórios.

69. Adicionalmente recomenda-se a construção de uma extensão do aplicativo OpenJump, em linguagem Java, no sentido de prover botões que executem as diversas consultas topológicas por simples apontamento do trecho de interesse.

70. Por fim, recomenda-se que esta nova base de dados de reservatórios seja portata para o servidor da SPR, tornando-se desta forma acessível a toda a equipe desta Superintendência.

Atenciosamente,



FLAVIO JOSÉ LYRA DA SILVA
Especialista em Recursos Hídricos



FLÁVIO HADLER TRÖGER
Coordenador do Núcleo de Estudos
Hidrológicos

De acordo.



SÉRGIO RODRIGUES AYRIMORAES SOARES
Superintendente de Planejamento de Recursos Hídricos