



**XXII SNPTTE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

BR/GIA/30
13 a 16 de Outubro de 2013
Brasília - DF

GRUPO - XI

GRUPO DE ESTUDO DE IMPACTOS AMBIENTAIS - GIA

**AGRUPAMENTO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS DE RESERVATÓRIOS DE USINAS HIDRELÉTRICAS
UTILIZANDO ANÁLISE MULTIVARIADA**

João Paulo Jankowski Saboia(*)
Lactec

Bernardo Lipski
Lactec

Matheus Henrique Tavares
Lactec

Akemi Kan
Lactec

RESUMO

O objetivo deste trabalho é apresentar uma metodologia para identificação de usinas hidrelétricas com características de bacias hidrográficas semelhantes. Dados descritivos das bacias de 38 usinas hidrelétricas foram utilizados. A Análise de Componentes Principais (ACP) foi aplicada e agrupadas as variáveis de acordo com suas correlações com os componentes principais da ACP. Foram identificados 9 grupos com diferentes quantidades de usinas. A metodologia mostrou-se eficaz para o agrupamento e também tornou evidente que algumas bacias possuem características muito particulares que as diferem das demais, sugerindo um possível comportamento singular em relação à emissões de gases de efeito estufa.

PALAVRAS-CHAVE

Análise de Componentes Principais, Gases de Efeito Estufa, Reservatório, Agrupamento

1.0 - INTRODUÇÃO

A demanda cada vez mais crescente por estudos sobre mudanças climáticas tem mobilizado diversas áreas do conhecimento e setores da economia. Dentro deste contexto, há uma necessidade de quantificação da emissão de gases de efeito estufa (GEE) em importantes atividades humanas.

Trabalhos anteriores mostram que certos reservatórios de usinas hidrelétricas emitem até mais do que termoeletricas com capacidades equivalentes (Santos et al., 2006). Entretanto, a ausência de grandes séries de dados de medições de emissões de GEE em reservatórios, bem como as limitações dos atuais aparelhos de medição, dificultam a interpretação do valor da emissão líquida de GEE em reservatórios. Segundo Demarty e Bastien (2011), muito já tem sido feito, mas não o suficiente para generalizar cientificamente a contribuição relativa da hidroeletricidade na escala global, no que se refere à emissão de GEE.

Dentro deste contexto, o objetivo deste trabalho é apresentar uma metodologia para identificação de usinas hidrelétricas com bacias hidrográficas semelhantes, relacionando-as através de suas características e proporcionando uma melhor comparação entre emissões de seus reservatórios. Uma vez realizado esse agrupamento de usinas, há a possibilidade da utilização dos resultados como entrada em modelos para inferência de emissões de GEE em diferentes reservatórios de usinas hidrelétricas.

2.0 - ÁREA DE ESTUDO E DADOS UTILIZADOS

A área de estudo foi definida a partir das usinas selecionadas para o projeto GEE-Apine, que propõe uma metodologia para monitoramento e avaliação de gases de efeito estufa em reservatórios de usinas hidrelétricas. A Tabela 1 explicita estas usinas.

(*) BR-116 – KM 98 nº 8813 Centro Politécnico da UFPR CEP 81.531-980 Curitiba, PR – Brasil
Tel: (+55 41) 3361-6283 – Fax: (+55 41) 3361-6007 – Email: joao.saboia@lactec.org.br

Tabela 1 – Lista das usinas

Código	Usina	Latitude	Longitude
1	UHE Água Vermelha	-19,834	-50,345
2	UHE Barra Bonita	-22,519	-48,533
3	UHE Bariri	-22,153	-48,752
4	UHE Ibitinga	-21,759	-48,990
5	UHE Promissão	-21,297	-49,788
6	UHE Nova Avanhadava	-21,118	-50,200
7	UHE Caconde	-21,576	-46,624
8	UHE Euclides da Cunha	-21,603	-46,948
9	UHE Limoeiro	-21,625	-47,009
10	PCH Mogi Guaçu	-22,379	-46,900
11	PCH Paes Leme	-22,185	-44,266
12	PCH Henrique Portugal	-22,254	-44,125
13	PCH Pirambeira	-21,927	-44,797
14	PCH Ribeirão	-21,941	-44,845
15	PCH Congonhal I	-22,112	-44,842
16	PCH Congonhal II	-22,113	-44,822
17	UHE Cachoeira Dourada	-18,502	-49,491
18	UHE Corumbá	-16,322	-48,187
19	UHE Monte Castelo	-29,030	-51,521
20	UHE Castro Alves	-29,005	-51,384
21	UHE 14 de Julho	-29,065	-51,674
22	Usina Elevatória Santa Cecília	-22,482	-43,838
23	Usina Elevatória de Vigário	-22,629	-43,896
24	UHE de Santa Branca	-22,702	-43,881
25	UHE de Nilo Peçanha	-22,683	-43,873
26	UHE Pereira Passos	-22,686	-43,824
27	UHE de Ilha dos Pombos	-21,854	-42,604
28	UHE de Santa Branca	-23,373	-45,871
29	UHE Cana Brava	-13,402	-48,143
30	UHE Itá	-27,277	-52,382
31	UHE Ponte de Pedra	-17,607	-54,826
32	UHE Salto Osório	-22,537	-53,008
33	UHE São Salvador	-12,834	-48,222
34	UHE Salto Santiago	-25,628	-52,613
35	UHE Foz do Areia	-26,006	-51,669
36	UHE Segredo	-25,790	-52,111
37	UHE Salto Caxias	-25,543	-53,498
38	UHE Capivari	-25,138	-48,874
39	PCH São Jorge	-25,052	-50,064
40	UHE Itapebi	-15,967	-39,588

A obtenção das áreas de drenagem foi realizada com o software ArcGIS.

As usinas estão localizadas em sua predominância na região Sudeste (59%), com ocorrências nos estados do Sul (28%) e Centro-Oeste (10%). Já nas regiões Norte e Nordeste há a presença de apenas uma usina em cada uma destas regiões.

Com relação aos estados, estão localizadas, em sua maioria, em São Paulo (25%), Rio de Janeiro (18%), Paraná e Minas Gerais (15%).

O bioma predominante é Mata Atlântica (80%), com algumas ocorrências de Cerrado. As coberturas vegetais são bastante diversificadas entre si, ocorrendo basicamente Floresta Ombrófila Mista (20%), Floresta Ombrófila Densa (22%), Savanas (22%), Áreas de Tensão Ecológica (24%) e Floresta Estacional Semidecidual (12%). Ocorrem também, embora em menores quantidades, a Floresta Ombrófila Aberta, Floresta Estacional Decidual e Refúgio Ecológico.

Com relação à geologia, foram verificados quatro tipos de classes de rochas: Ígneas (32%), Metamórficas (29%), Sedimentares (22%) e a ocorrência conjunta de Ígneas com Metamórficas (11%).

Solos do tipo Argissolos e Latossolos estão presentes em cerca de 50% das bacias hidrográficas. Também há ocorrências de Neossolos, Nitossolos, Gleissolos, Vertissolos, Chernossolos, Organossolos e Planossolos.

O tipo climático predominante é Cwa (30%), seguido de Cfb (24%), Aw (21%) e Cwb (15%).

As usinas 12 (PCH Henrique Portugal) e 23 (Usina Elevatória de Vigário) não foram utilizadas por falta de dados de algumas variáveis.

Dados descritivos de bacias hidrográficas das 38 usinas hidrelétricas restantes foram utilizados: 9 classes climáticas (Classificação de Köppen), 15 classes de solo, 7 classes de rocha e 12 classes de vegetação. Os dados foram obtidos de diferentes fontes: EMBRAPA (solos e clima), CPRM (2001) [geologia] e MMA (biomas e vegetação).

3.0 METODOLOGIA DE AGRUPAMENTO

De posse das séries de dados das bacias, buscou-se obter um agrupamento baseado na Análise de Componentes Principais (ACP).

Este método de análise multivariada, largamente utilizado no meio científico, em especial em estudos climáticos, está descrito em Johnson e Wichern (1998) e em muitos outros trabalhos, como Saboia (2010). A análise basicamente busca estabelecer um conjunto menor de variáveis em relação ao original, mantendo aproximadamente a mesma variância explicada do conjunto original.

Para o conjunto de 38 usinas foram preparadas séries de valores de acordo com o percentual da área da bacia correspondente a cada classe de bioma, clima, geologia, solos e cobertura vegetal. Por exemplo, para a variável clima, foi identificado qual percentual da área da bacia UHE Itapebi é da classe Af, como também da Am, da classe As e das demais estabelecidas na classificação de Köppen. De modo análogo foram construídas séries para as demais variáveis descritivas. Assim, foram construídas 38 séries com 43 valores cada – representando um conjunto de 38 novas variáveis com 43 observações cada.

A ACP foi aplicada para todas as variáveis isoladamente, como também para séries obtidas por combinação de variáveis. Como é necessário agrupar as bacias das usinas considerando diversos fatores, foram realizados testes com algumas combinações e através destes testes, optou-se por utilizar uma combinação das seguintes variáveis: cobertura vegetal, solos, clima e geologia.

Após a aplicação da ACP, foram identificadas as correlações mais altas das séries das bacias com os componentes principais, separando assim quais bacias são semelhantes entre si. Se (hipoteticamente) as usinas 1, 3, 5 e 8 possuem correlação mais alta com o primeiro componente principal da ACP, estas usinas são agrupadas em um mesmo grupo. Da mesma forma, se as usinas 2, 4, 15, 21, 35 possuem correlação mais alta com o segundo componente principal, tais usinas são selecionadas para outro grupo, seguindo o mesmo procedimento com as demais usinas.

4.0 RESULTADO DO AGRUPAMENTO

A Figura 1 mostra correlações de séries das usinas com um dos modos obtido com a ACP. Usinas do Centro-Oeste que apresentam séries com correlação mais alta com o componente principal indicado, são relacionadas no mesmo grupo. Já as localizadas no sul de Minas, apesar de também apresentarem correlação alta, são incluídas em outro grupo pois o sinal da correlação é diferente do grupo do Centro-Oeste.

Clima, Solo, Geologia e Cob. Vegetal: comp. principal 3, v.e. 12.55 %

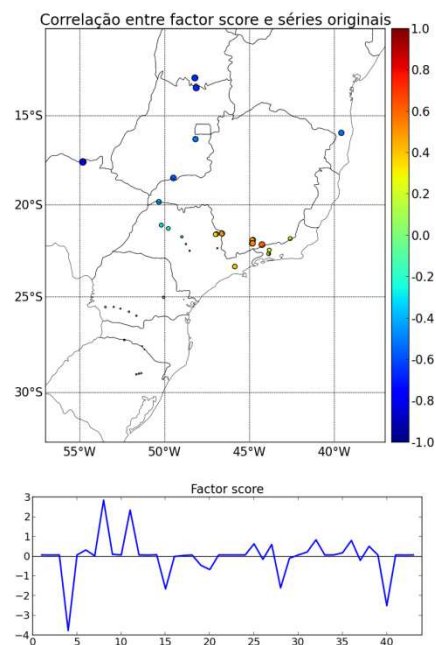


Figura 1 – Correlação de série de usinas com componente principal obtido pela ACP.

O conjunto final de grupos obtido está indicado pela Figura 2 e Tabela 2.

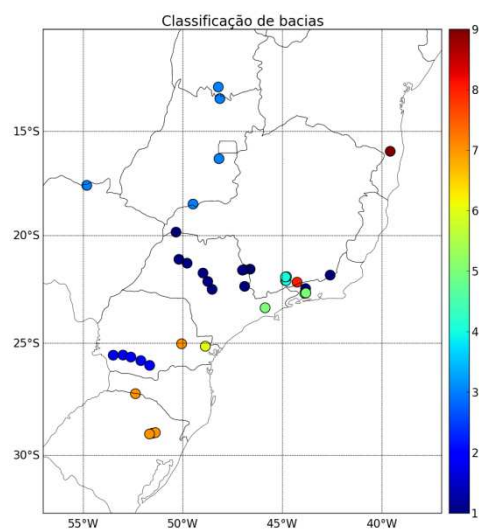


Figura 2 – Classificação das usinas de acordo com características das bacias

Tabela 2 – Usinas de cada grupo

Grupo	Nome	Usinas
1	Sudeste	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,22,25,27
2	Centro-Oeste	17,18,29,31,33
3	Sul de Minas	13,14,15,16
4	Rio-São Paulo	24,26,28
5	Iguaçu	32,24,35,36,37
6	Sul	19,20,21,30,39
7	Capivari	38
8	Paes Leme	11
9	Itapebi	40

4.1 Descrição dos grupos

O grupo Sudeste é o mais numeroso (13 usinas), abrangendo áreas de São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro. A cobertura vegetal deste grupo não apresenta um tipo dominante, predominando um conjunto entre Floresta Ombrófila Densa, Área de Tensão Ecológica e Floresta Semidecidual. O solo é em sua maioria Argissolo e Latossolo. Clima varia entre Cwa e Cwb e não há predominância na formação geológica - divisão entre rochas Ígneas, Metamórficas e Sedimentares.

Centro-Oeste é constituído por usinas com bacias em regiões do Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás, Tocantins e Minas Gerais. Esta classe tem a Savana como cobertura vegetal predominante, grande presença de Latossolos e em menor quantidade Cambissolos, Neossolos e Argissolos. Clima é do tipo Aw e as rochas Metamórficas são as predominantes, mas com uma boa parcela do tipo Sedimentar.

O grupo Sul de Minas é constituído por quatro PCHs, com bacias no sul do estado mineiro. O grupo 3 possui cobertura vegetal, clima e solo bem definidos (Área de Tensão Ecológica, Cwa e Cambissolo, respectivamente). A formação geológica predominante é a Metamórfica, com uma pequena parcela de rochas Ígneas.

O quarto grupo (Rio-São Paulo) é constituído por três usinas com bacias em regiões de São Paulo e Rio de Janeiro. Há predominância de Floresta Ombrófila Densa e variações de tipo de solo (Cambissolo e Argissolo), clima (Aw, Am, Cwa) e geologia (associação Ígnea e Metamórfica).

O grupo Iguaçu é constituído por usinas com bacias na região da bacia hidrográfica do Rio Iguaçu, no estado do Paraná. Com cobertura vegetal de Floresta Ombrófila Mista, este grupo tem uma maior quantidade de Cambissolo e também quantidade significativa de Latossolo e Neossolo. A maior parte da área está em região de clima Cfb, com uma boa parcela de Cfa. Em relação à geologia, há uma divisão entre rochas Ígneas e Sedimentares.

O sexto grupo (Sul) é possui usinas com bacias em Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. A cobertura vegetal é dividida entre Savana e Floresta Ombrófila Mista. Há parcelas de Cambissolos e Latossolos, clima Cfb e rochas Ígneas.

Capivari é constituído apenas pela UHE Capivari, localizada no estado do Paraná. Esta classe tem maior parte de Floresta Ombrófila Mista, mas com Área de Tensão Ecológica também presente na cobertura vegetal. O tipo Argissolo é predominante em relação ao Cambissolo e Latossolo. É caracterizada também pelo clima Cfb (pequena parcela de Cfa), além de rochas Metamórficas.

O grupo Paes Leme apresenta apenas a PCH Paes Leme. Possui Floresta Ombrófila Mista, solo do tipo Cambissolo, clima Cwa e predominância de associação de rochas Ígneas e Metamórficas.

Itapebi é constituído apenas pela UHE Itapebi, com bacia localizada entre Minas Gerais e Bahia. Com cobertura vegetal muito variada (entre Área de Tensão Ecológica, Floresta Estacional Semidecidual, Floresta Estacional Decidual e Savana), apresenta clima AW, predominância de Argissolos (Latossolos e Neossolos também presentes) e geologia com variação entre rochas Metamórficas, Ígneas e Sedimentares.

5.0 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O método da Análise de Componentes Principais mostrou-se eficaz no agrupamento de usinas hidrelétricas de acordo com suas respectivas bacias, bem como na separação de usinas que possuem bacias com características muito particulares.

Como cada componente principal tem correlação linear alta com a série de um determinado conjunto de bacias, é possível então identificar grupos e separá-los para análises posteriores, como em estudos de gases de efeito estufa.

O agrupamento obtido revelou não só a existência de conjunto de usinas com bacias similares como também alguns casos particulares que não se encaixavam em grupo algum (casos das UHE Capivari e Itapebi, bem como

da PCH Paes Leme). Isso mostra como há grandes diferenças entre reservatórios, sugerindo um cuidado especial na preparação de uma metodologia geral de monitoramento e avaliação de gases de efeito estufa.

A distribuição das bacias entre os grupos apresentou uma desigualdade, com alguns grupos compostos de apenas uma usina, evidenciando que algumas bacias possuem uma combinação muito particular de vegetação, solo, geologia e clima que as diferem das demais.

Como um aprimoramento do agrupamento pode-se sugerir a inclusão de novas variáveis relacionadas a fatores não incluídos neste trabalho como uso do solo, que poderia indicar situações diferentes de aporte de carbono e influenciando assim a emissão de gases de efeito estufa pelo reservatório.

6.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(1) CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil: sistema de informações geográficas - sig e mapas na escala 1:2.500.00. CPRM, 2001. (4 CD-ROM)

(2) DEMARTY, M.; BASTIEN, J. GHG emissions from hydroelectric reservoirs in tropical and equatorial regions: Review of 20 years of CH₄ emissions measurements. Energy Policy, 2011.

(3) EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Geoportal Digital. Disponível em: < <http://mapoteca.cnps.embrapa.br>>. Acessado em: dezembro de 2010.

(4) JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. Applied Multivariate Analysis. Prentice Hall, 1998.

(5) MMA – Ministério do Meio Ambiente. Geoprocessamento. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/governanca-ambiental/geoprocessamento>>. Acessado em: dezembro de 2010.

(6) SABOIA, J. P. J. Variabilidade Interdecadal de Precipitação na América do Sul: Características, Impactos e Mecanismos. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) – Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 111 p, 2010.

(4) SANTOS, M. A.; ROSA, L. P.; SIKAR, B.; SIKAR, E.; SANTOS, E. O. Gross greenhouse gas fluxes from hydro-power reservoir compared to thermo-power plants. Energy Policy 34, 481-488, 2006.

7.0 DADOS BIOGRÁFICOS

João Paulo Jankowski (autor de contato, Figura 3).

Nascido em Lapa-PR, 1985.

Possui graduação em Engenharia Ambiental pela UFPR (2007), mestrado em Engenharia Ambiental e de Recursos Hídricos pela UFPR (2010).

É Mestre em Engenharia Ambiental e de Recursos Hídricos, com experiência em pesquisa em Variabilidade Climática Interdecadal e Emissões de Gases de Efeito Estufa.



Figura 3 – João Paulo Jankowski Saboia, autor de contato.