



Figura 1: Usina hidrosolar Umenoki no Japão.
(Fonte: MINAMINO, 2018.)

Extrapolação da Série Histórica de Radiação Solar por Correlação com a Série de Vazões Naturais Afluentes

Aluna: Jacqueline de Souza Hayaxibara Goto - 170253

Orientador: Prof. Dr. Tiago Zenker Gireli - Departamento de Recursos Hídricos



INTRODUÇÃO

A demanda energética crescente requer novas soluções que agreguem garantia física aos empreendimentos e, nesse intuito, a adoção de geração mista se mostra um fator interessante.

Nesse âmbito estão as usinas hidro-solares que coincidem a geração hidrelétrica e solar. Para amparar os estudos nessa área, analisa-se a possibilidade de extrapolar a limitada série histórica de dados solares através da série de dados de vazão das UHEs e, assim, traçar uma correlação.



Figura 2: Usina hidrosolar na China.
(Fonte: MINAMINO, 2018.)

OBJETIVOS

- 1 VERIFICAR EXISTÊNCIA DE CORRELAÇÃO ENTRE DADOS DE RADIAÇÃO SOLAR E VAZÕES AFLUENTES**
de 4 usinas hidrelétricas (UHE) do Sistema Interligado Nacional (SIN)
- 2 MELHORAR ESTIMATIVA DA RADIAÇÃO SOLAR**
para aplicar nos estudos do modelo de garantia física de usinas híbridas
- 3 DEFINIR UMA EQUAÇÃO LINEAR PARA CADA MÊS, EM CADA UHE**
considerando interferências ambientais na vazão como o regime de chuvas durante o ano



METODOLOGIA

Empregou-se uma **abordagem quantitativa** para analisar os dados prospectados.

Primeiramente, fez-se a **prospecção dos dados de radiação solar e vazões afluentes** das quatro UHEs dos estudos do modelo de garantia física de usinas híbridas (FERREIRA, 2018; ZUÑIGA, 2018).

Devido à indisponibilidade dos dados de vazão necessários no ONS, foi necessário adotar apenas as usinas de cabeceira, limitando a pesquisa a duas UHEs (Jurumirim e Nova Ponte).

Para os dados de radiação foram utilizadas as medições do INMET nas estações automáticas de Avaré, Itapeva, Ourinhos e São Miguel Arcanjo (Jurumirim) e Araxá, Patrocínio e Uberlândia (Nova Ponte).

No âmbito do equacionamento, optou-se por confrontar os dados da radiação global mensal com as médias mensais de vazão afluente de forma a linearizar a tendência de cada gráfico. Em caso de radiação global mensal nula, o ponto foi desconsiderado por corresponder a falha no aparelho. Feitos os ajustes obteve-se uma equação para cada mês e estação automática bem como o coeficiente R^2 , o qual orientou a decisão de qual equação seria utilizada por UHE (Figura 4). A adoção de equações mensais foi para contemplar a variabilidade do regime de chuvas durante o ano.

Todas as análises foram realizadas por meio do **Microsoft Excel**, permitindo processar o modelo linear e compilar os resultados dos gráficos em um *dashboard* (Fig. 3) mais intuitivo.



RESULTADOS E DISCUSSÃO

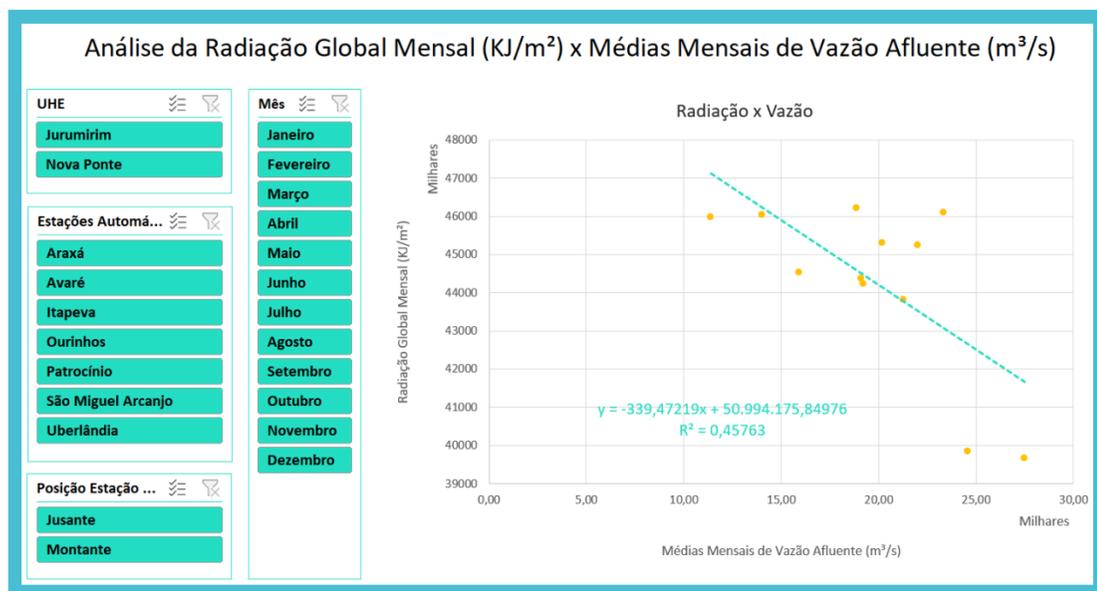


Figura 3: Análise da correlação com equacionamento. (Fonte: Elaborado pela autora.)

Mês	Estações Automáticas	Posição Estação Automática	Equação SEM ajuste			Equação COM ajuste			Validação
			a(x)	b	R ²	a(x)	b	R ²	
Janeiro	Avaré	Montante	-471,14731	776177,54465	0,31749	-107,80511	682300,82127	0,07247	NOK
Janeiro	Itapeva	Montante	-104,86749	611857,58278	0,01690	-164,23400	688092,01837	0,24969	OK
Janeiro	Ourinhos	Jusante	-468,96004	771006,86194	0,33588	-108,71928	677931,45751	0,10598	NOK
Janeiro	São Miguel Arcanjo	Montante	-142,18147	634657,61147	0,03190	-98,33537	669505,76055	0,12843	NOK
Fevereiro	Avaré	Montante	-777,52974	814332,18001	0,66745	-117,17633	614143,04508	0,05978	OK
Fevereiro	Itapeva	Montante	171,90758	444389,16640	0,03673	65,58203	529272,76911	0,10604	NOK
Fevereiro	Ourinhos	Jusante	-817,71954	776655,65936	0,43894	63,79333	550586,28474	0,02616	NOK
Fevereiro	São Miguel Arcanjo	Montante	255,88338	338085,83471	0,03166	107,29773	535658,63647	0,27975	NOK
Março	Avaré	Montante	-1536,18722	975131,21335	0,50227	-663,48316	766937,19327	0,64948	OK
Março	Itapeva	Montante	-358,55803	635766,53262	0,42627	-358,55803	635766,53262	0,42627	NOK
Março	Ourinhos	Jusante	-718,54094	766833,79236	0,41568	-718,54094	766833,79236	0,41568	NOK
Março	São Miguel Arcanjo	Montante	304,06030	439366,92336	0,02053	-439,25779	702829,60290	0,35937	NOK

Figura 4: Coeficiente R² para definição da equação a ser adotada (Jurumirim). (Fonte: Elaborado pela autora.)

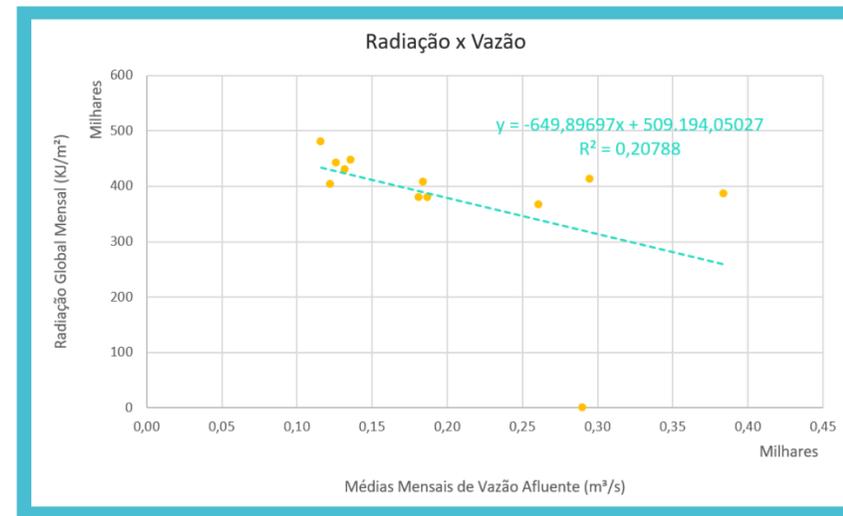


Figura 5: Equação SEM ajuste para UHE Jurumirim na Estação Automática Avaré (Maio). (Fonte: Elaborado pela autora.)

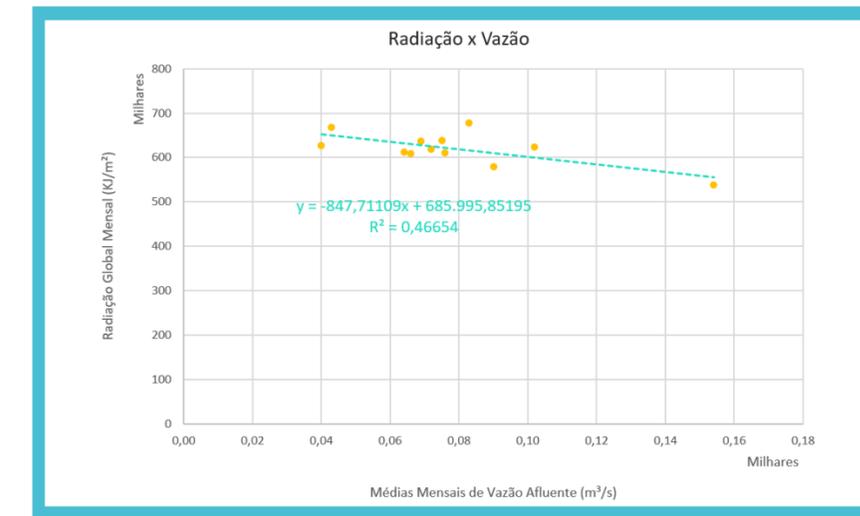


Figura 7: Equação SEM ajuste para UHE Nova Ponte na Estação Automática Uberlândia (Setembro). (Fonte: Elaborado pela autora.)

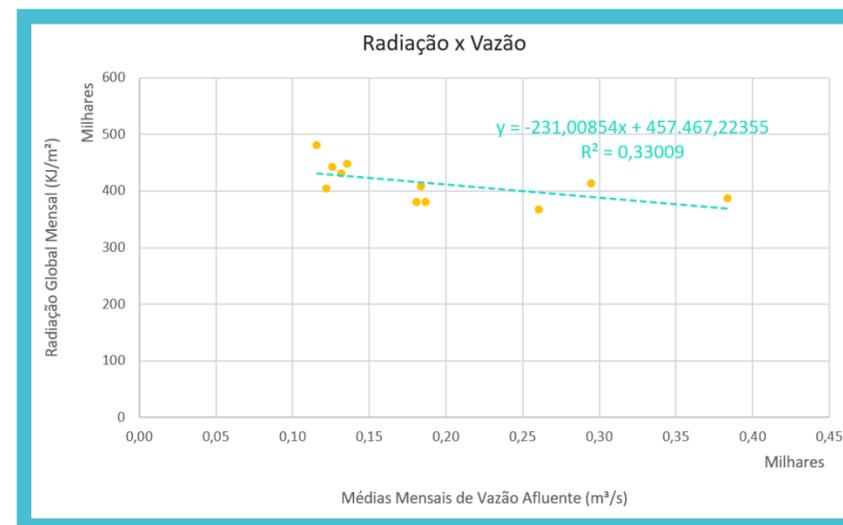


Figura 6: Equação COM ajuste para UHE Jurumirim na Estação Automática Avaré (Maio). (Fonte: Elaborado pela autora.)

Usina Hidroelétrica (UHE)	Estação Automática (EA)	Distância EA até UHE	Porcentagem de adoção da EA
Nova Ponte	Uberlândia	63,56 km	54,55%
	Patrocínio	75,85 km	45,45%
	Araxá	94,40 km	0,00%
Jurumirim	Avaré	31,88 km	75,00%
	Ourinhos	74,07 km	16,67%
	Itapeva	92,55 km	8,33%
	São Miguel Arcanjo	129,80 km	0,00%

Figura 8: Porcentagem de adoção da Estação Automática para definição da equação. (Fonte: Elaborado pela autora.)



CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONTINUIDADE

A Figura 8 demonstra que as equações das estações automáticas mais distantes não foram adotadas em nenhuma das UHEs, pois o coeficiente R^2 foi menor que qualquer outra estação automática que se mostrou mais próxima da UHE em questão nas análises.

Apesar das correlações mostrarem uma **variabilidade grande** nos resultados (Figuras 5 a 7), foi factível desenvolver **equações lineares** que **permitem correlacionar vazão e radiação** e essa possibilidade trará benefício ao modelo de cálculo de garantia física, uma vez que em sua versão atual, o modelo emprega o mesmo valor mensal de radiação para cada um dos meses de todos os anos da base de dados utilizada.

Esta pesquisa ganhará sequência com adoção de abordagem de **estimativas não-lineares** por meio da continuidade em um Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP).

Além disso, está prevista a **aplicação dos equacionamentos nos estudos do modelo de garantia física de usinas híbridas** (FERREIRA, 2018; ZUÑIGA, 2018; MILOCHI, 2016) para validar o uso de tais equacionamentos.

AGO.2019 - SET.2020

Desenvolvimento Iniciação Científica

30.NOV.2020 - 03.DEZ.2020

XXVIII Congresso {virtual} de Iniciação Científica da Unicamp

MAR.2020 - JAN.2021

Desenvolvimento Trabalho de Conclusão de Curso

JAN.2021

Apresentação Trabalho de Conclusão de Curso

BIBLIOGRAFIA

COELHO, L. D. N. Modelos de estimativa das componentes de radiação solar a partir de dados meteorológicos. 2016. Dissertação (Mestrado em Ciências Mecânicas) – Universidade de Brasília, Brasília: 2016.

FERREIRA, F. G. Painéis Fotovoltaicos Flutuantes em Lagos de UHEs: otimização aplicada ao incremento de energia firme do empreendimento. Trabalho Final de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Unicamp, Campinas, SP: 2018.

MILOCHI, V. F. L. Avaliação alternativa da garantia física em usinas hidrelétricas por meio de modelos de otimização para o planejamento da operação. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Unicamp, Campinas, SP: 2016.

MME – Ministério de Minas e Energia. Resenha Energética Brasileira 2018.

NEOSOLAR – Apostila Fundamentos da Energia Solar: Guia completo para se aprofundar no mundo fotovoltaico. 2017.

ZUÑIGA, C. P. Estudo da Garantia Física Híbrida de Usinas Hidroelétricas em Conjunto com Usinas Solares Fotovoltaicas. Trabalho Final de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Unicamp, Campinas, SP: 2018.