

Mapas Cognitivos Fuzzy Aplicados no Rendimento de Diferentes Fontes Energéticas Mundiais

Fuzzy Cognitive Maps Applied to Yield from Different World Energy Sources

RESUMO

Thiago Rossato Francisco
thiagof@alunos.utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica do
Paraná, Cornélio Procopio, Paraná,
Brasil

Márcio Mendonça
mmendonca@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica do
Paraná, Cornélio Procopio, Paraná,
Brasil

A humanidade está tornando-se cada vez mais dependente de suas próprias tecnologias, e para que tais tecnologias possam atender as nossas necessidades é preciso que haja energia elétrica disponível uma vez que a maioria das nossas máquinas depende disso. Seguindo essa motivação, é proposto como objetivo avaliar e comparar melhor rendimento das fontes energéticas atualmente conhecidas: Hidrelétrica, Solar, Eólica, Geotérmica, Biomassa, Gás Natural, Termoelétrica (Carvão e Petróleo) e Nuclear. Isso tendo estabelecido os seguintes critérios: Custo de Construção e Instalação, Energia Produzida, Impacto Ambiental, Custo de Operação e Confiabilidade. Os critérios secundários como localização geográfica, tecnologias, demanda da rede também são levados em consideração, influenciando os critérios principais citados. Um mapa cognitivo fuzzy feito a partir desses critérios, estimar qual seria a fonte mais rentável. Os pesos do mesmo são estimados a partir de estudos, livros, artigos e publicações na área de geração de energia elétrica. Todos os pesos do Mapa Cognitivo Fuzzy (FCM) são variáveis que mudam de acordo com a fonte estudada.

PALAVRAS-CHAVE: Fontes de Energia. Rendimento. Lógica Fuzzy.

Recebido: 19 ago. 2019.

Aprovado: 01 out. 2019.

Direito autoral: Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



ABSTRACT

Humanity is becoming increasingly dependent on its technologies, and for such technologies to meet our needs, electricity must be available since most of our machines depend on it. Following this motivation, it is proposed to evaluate and compare the better performance of currently known energy sources: Hydroelectric, Solar, Wind, Geothermal, Biomass, Natural Gas, Thermoelectric (Coal and Oil) and Nuclear. Thus had established the following criteria: Cost of Construction and Installation, Energy Produced, Environmental Impact, Cost of Operation and Reliability. Secondary criteria such as geographic location, technologies, network demand are also taken into account, influencing the main criteria cited. A fuzzy cognitive map made from these criteria, estimating which would be the most profitable source. Its weights are estimated from studies, books, articles, and publications in the area of electric power generation. All Fuzzy Cognitive Map (FCM) weights are variables that change according to the source studied.

KEYWORDS: Energy sources. Yield. Fuzzy Logic.

INTRODUÇÃO

Praticamente todas as atividades industriais, comerciais e residências dependem da energia elétrica. À medida que a humanidade torna-se mais dependente da eletricidade surgem questões como: a maneira que produzimos energia é realmente a mais eficiente? Teremos energia para todos no futuro? Instituições como a Agência Internacional de Energia (AIE), a Administração de Informações sobre Energia (EIA) dos EUA e a Agência Ambiental Europeia (EEA) registram e publicam dados de energia periodicamente (BP, 2016). Assim é possível ter uma estimativa de quanta energia elétrica está sendo produzida e consumida em escala mundial.

Com a crescente demanda de energia cria-se a necessidade de estudar os modelos das fontes energéticas e o quanto eles são de fato eficientes. Com essa motivação propõe-se aplicar mapas cognitivos para estimar o quanto cada uma dessas fontes de energia é eficiente em produção e preservação do meio ambiente. Com isso, poder comparar os resultados a fim de alcançar um veredito coerente com a direção de outros estudos.

METODOLOGIA

Para a análise foram escolhidas as principais fontes de produção de energia elétricas por todo o mundo. Essas fontes são Hidroelétrica, Solar Fotovoltaica, Eólica, Geotérmica, Biomassa, Gás Natural, Termoelétrica e Nuclear.

Foram quantificados os valores presentes no Quadro 1 (U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION, 2019); (PROEST, 2018); (JETTER; SCHWEINFORT, 2011); (W. et al., 2011); (PAUSCHERT, 2009) juntamente com uma serie de outras informações complementares.

Quadro 1 – Critérios Principais para a avaliação das usinas elétricas (média).

Fontes	Construção (2018\$/KW)	Energia Produzida (MW)	Poluição (g CO ₂ /kW _e)	Operação (2018\$/MWh)	Confiabilidade
Hidroelétrica	2.948	500	4	1,36	Alta
Solar	1.783	150	46	0	Média
Eólica	1.624	100	12	0	Média
Geotérmica	2.787	50	45	0	Alta
Biomassa	3.642	50	18	5,7	Alta
Gás Natural	2.205	340	469	7,34	Alta
Termoelétrica	5.169	650	1001	7,31	Alta
Nuclear	6.034	2.234	16	2,37	Alta/Perigosa

Fontes: (U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION, 2019); (PROEST, 2018); (JETTER; SCHWEINFORT, 2011); (W. et al., 2011); (PAUSCHERT, 2009).

Escolhidas as fontes a serem analisadas foram então estabelecidos os critérios principais: Custo de construção civil, estrutural, equipamentos, projeto e outros custos da concessionária elétrica (preço do dólar em 2018 por quilo watt);

a energia média produzida por uma turbina do tipo de usina em Mega Watts (MW); a poluição gerada por elas; o custo de operação e manutenção (preço do dólar em 2018 por mega watts hora); e por fim a confiabilidade que as mesmas possuem no quesito de entrega de energia e danos colaterais ocasionados por possíveis catástrofes naturais.

MAPAS COGNITIVOS FUZZY

Os Mapas Cognitivos Fuzzy (FCM) é uma abordagem desenvolvida pelo conhecimento de especialistas para a construção de cenários usada frequentemente para registrar diversos modelos mentais (KOSKO, 1986). Pode, no entanto, resultar em modelos grandes e complexos que são difíceis de analisar porque ocorrem efeitos indiretos e intervalos de tempo (KOSKO, 1986). A principal razão para seu uso é inferir decisões aplicando métodos de raciocínio humano em ambientes incertos. Diversos campos de pesquisa estão sendo investigados usando FCM, como: industrial, logística, médica e outros (MAZZUTO et al., 2018).

A representação formal do FCM adotada neste trabalho está no formato da tupla (C, W, S, f) : C é o conjunto de conceitos utilizados para construir a FCM (PEDRYCZ et al., 2005), adotando valores que vão desde -1 a 1. Seguindo (i) e (ii) em coerência com as equações (1) e (2) (NÁPOLES; BELLO; VANHOOF, 2013).

(i) $C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$: conjunto de conceitos n FCM;

(ii) $W: (C_i, C_{ij}) \rightarrow w_{ij}$ é o peso (relação causal) que liga os conceitos de entrada e saída.

Em (1) e (2), f_c é a função de ativação do conceito, x_j é o valor do conceito j , w_{ij} representa a relação causal entre os conceitos i e j , e λ é a taxa de aprendizagem (1).

$$f(x_i) = f_c \left(\sum_{j=1}^n w_{ij} \times x_j \right) \quad (1)$$

$$f_c = \frac{1}{1 + e^{-\lambda u}} \quad (2)$$

No presente trabalho, um FCM com treze conceitos foi desenvolvido. Os conceitos possuem um relacionamento casual, pesos e influências positivas e negativas. Eles foram definidos de acordo com os critérios principais (C2,C3,C4,C5,C6) mais os critérios secundários (C7,C8,C9,C10, C11,C12) que influenciam os pesos dos principais. O Quadro 2 mostras os conceitos. A Figura 2 mostra o FCM desenvolvido, onde C_1 é o *output* das relações causais, o Rendimento Efetivo da determinada usina.

O FCM da Figura 2 contem os valores de suas relações causais como variáveis, pois cada tipo de fonte energética possui pesos diferentes nas mesmas. Sendo que os conceitos como C_7, C_9, C_{12} dependem da situação específica de cada usina. Para fins demonstrativos foram estipulados pesos genéricos médios com o intuito de desenvolver um FCM genérico uma vez que estudar cada caso particular das inúmeras usinas existentes está fora do alcance dessa pesquisa. Os

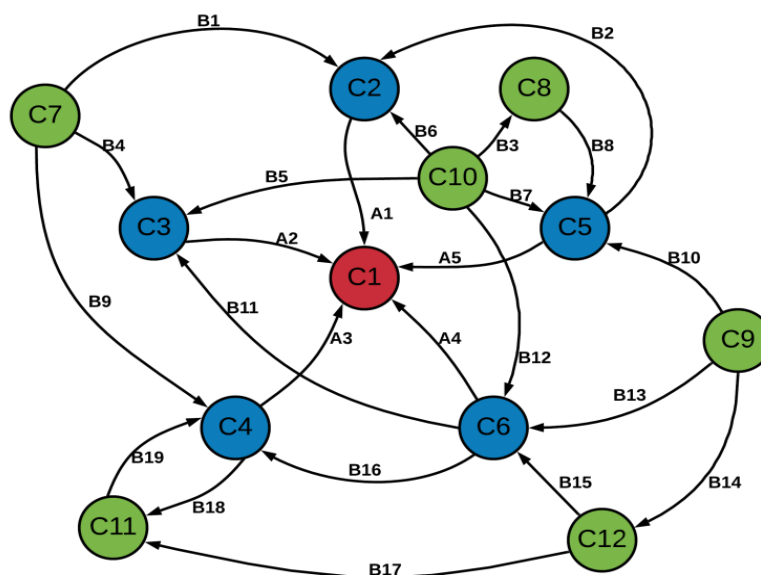
pesos provenientes do conceito C10 foram mensurados com base no Fator de Otimismo Tecnológico descrito na Tabela de levantamento da EIA (U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION, 2019).

Quadro 2 – Conceitos do FCM.

Conceitos	Descrição
C1	Rendimento Efetivo da Usina Estudada
C2	Custo Total de Construção da Usina
C3	Energia Elétrica Produzida
C4	Impacto Ambiental Causado pela Construção e Funcionamento
C5	Custos de Operação e Manutenção da Usina
C6	Confiabilidade
C7	Localização Geografia (Média)
C8	Vida Útil da Usina e seus Componentes Essenciais
C9	Capacidade de Abastecimento (Situações Críticas)
C10	Tecnologia Desenvolvida na Área
C11	Opinião Pública sobre a Usina
C12	Demanda Média Solicitada

Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 2 – FCM desenvolvido a partir dos critérios estabelecidos na tabela 2.



Fonte: Autoria Própria (2019)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

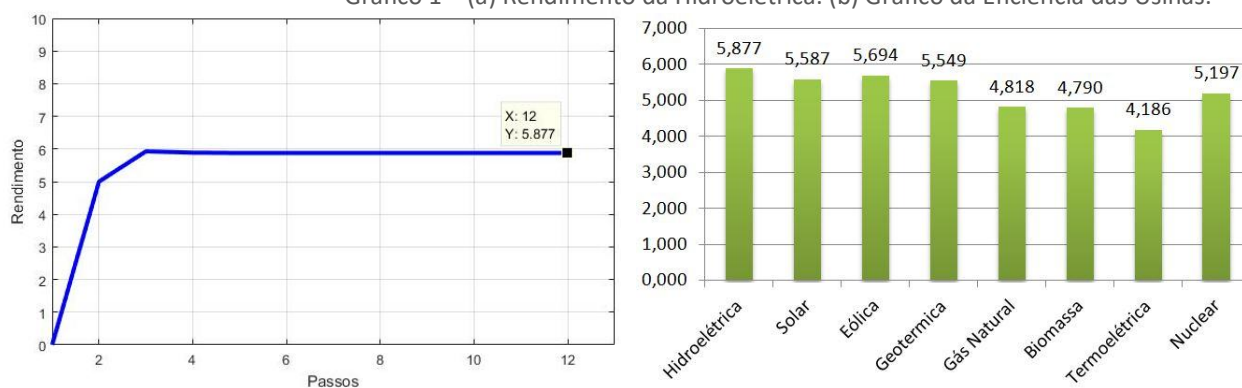
Com base nas relações causais da FCM criou-se a Tabela 3 onde os valores de cada relação foram estimados com base nos dados do Quadro 1 e mais a bibliografia. Com o auxílio do *software* Matlab® foi gerado o Gráfico 1 (a) que corresponde ao C1, o rendimento, da usina hidroelétrica. Por questão de praticidade os gráficos de rendimento das demais usinas foram omitidos. Somente seus valores finais foram extraídos e comparados no Gráfico 1 (b) onde foi possível constatar que a fonte que mostrou ter maior rendimento de eficiência foi a Hidroelétrica.

Tabela 3 – Valor dos pesos do FCM das diferentes fontes energéticas

Peso	Hidroelétrica	Solar	Eólica	Geotérmica	Gás Natural	Biomassa	Termoelétrica	Nuclear
A1	-0,45	-0,3	-0,25	-0,4	-0,35	-0,55	-0,7	-0,8
A2	0,65	0,35	0,3	0,25	0,5	0,25	0,75	1
A3	-0,15	-0,2	-0,1	-0,2	-0,45	-0,15	-0,8	-0,2
A4	0,9	0,7	0,7	0,9	0,9	0,9	0,9	0,5
A5	-0,2	-0,05	-0,05	-0,05	-0,65	-0,5	-0,65	-0,3
B1	0,4	0,1	0,15	0,5	0,3	0,15	0,2	0,5
B2	0,05	0,05	0,05	0,05	0,15	0,1	0,15	0,15
B3	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,5	0,65	0,7
B4	0,5	0,35	0,7	0,4	0,4	0,1	0,1	0,1
B5	0,5	0,5	0,55	0,5	0,6	0,5	0,65	0,7
B6	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,6	-0,5	-0,65	-0,7
B7	-0,25	-0,25	-0,25	-0,25	-0,3	-0,25	-0,3	-0,35
B8	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,35	0,35	0,35
B9	0,2	0,1	0,15	0,15	0,3	0,3	0,4	0,5
B10	0,1	0,1	0,1	0,1	0,35	0,3	0,4	0,45
B11	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
B12	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,5	0,65	0,7
B13	0,3	0,35	0,3	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1
B14	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,4	-0,25	-0,6	-0,85
B15	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4
B16	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,4	-0,45	-0,2	-0,1
B17	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3
B18	0,3	0,2	0,2	0,2	0,4	0,3	0,55	0,7
B19	0,15	0,1	0,1	0,1	0,25	0,2	0,4	0,5

Fonte: Autoria própria (2019).

Gráfico 1 – (a) Rendimento da Hidroelétrica. (b) Gráfico da Eficiência das Usinas.



Fonte: Autoria Própria (2019)

Através de cálculos empíricos iniciais foi possível identificar os laços internos e estabelecer uma hipótese numérica inicial para o algoritmo. Doze ciclos foram necessários para atingir o ciclo limite do FCM. É possível visualizar no Gráfico 1 (a) os treze passos necessários para a estabilização do FCM. No Gráfico 1 (b) é possível ver que a e Hidroelétrica é a fonte de eletricidade mas eficiente. As Termelétricas têm seus rendimentos significativamente reduzidos por conta da quantidade de poluentes que geram. As Nucleares apenas de serem as maiores produtoras de eletricidade sobre penalidade por serem perigosas em relação a erros humanos ou mesmo catástrofes naturais.

CONCLUSÃO

Segundo dados da ANNEL e EAI, a usina com melhor eficiência é de fato a Hidroelétrica, seu limitante é a necessidade de grandes bacias hidrográficas para seu funcionamento. As hidroturbinas têm o mais eficiente processo de conversão de energia. O potencial de água está disponível ao lado da turbina, portanto, não há perdas de conversão de energia, apenas as perdas mecânicas e de cobre na turbina e no gerador e a perda na extremidade traseira. A eficiência pode chegar à faixa de 85 a 90%. O FCM permite a criação de uma cadeia lógica baseada em lógica difusa, o que produz um resultado que equilibra todos os critérios.

REFERÊNCIAS

- ANNEL. **National Electrical Energy Agency**. 27 mar. 2019 <<http://www2.aneel.gov.br>>. 2017.
- BP (London). **Statistical Review of World Energy**. [S. l.: s. n.], 2016. Workbook (xlsx). Disponível em: <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>. Acesso em: 19 jun. 2019.
- PROEST. **Power Plant Construction Costs**. [S. l.], 6 ago. 2018. Disponível em: <https://www.proest.com/power-plant-construction-costs/>. Acesso em: 22 jun. 2019.
- JETTER, A.; SCHWEINFORT, W. Building scenarios with Fuzzy Cognitive Maps: An exploratory study of solar energy. **Futures**, v. 43, n. 1, p. 52–66, 2011.
- KOSKO, B. **Fuzzy cognitive maps**. **International Journal of Man-Machine Studies**, v. 24, n. 1, p. 65–75, 1986.
- MAZZUTO, G. et al. Fuzzy Cognitive Maps designing through large dataset and experts' knowledge balancing. **IEEE International Conference on Fuzzy Systems**, v. 2018- July, p. 1–6, 2018.
- NÁPOLES, G.; BELLO, R.; VANHOOF, K. **Learning Stability Features on Sigmoid Fuzzy Cognitive Maps through a Swarm Intelligence Approach**. (J. Ruiz-Shulcloper, G. Sanniti di Baja, Eds.) CIARP 2013: Progress in Pattern Recognition, Image Analysis, Computer Vision, and Applications. Lecture Notes in Computer Science, vol 8258. Anais...Berlin: Springer Berlin Heidelberg, 2013
- PAUSCHERT, D. **Study of Equipment Prices in the Power Sector**. Washington, D.C. 20433, U.S.A. All: ESMAP Technical Paper 122/09 Study, 2009.
- PEDRYCZ, W. et al. **Genetic learning of fuzzy cognitive maps**. **Fuzzy Sets and Systems**, v. 153, n. 3, p. 371–401, 2005.
- U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION. Cost and Performance Characteristics of New Generating Technologies, Annual Energy Outlook 2019. **Annual Energy Outlook** 2018, v. 2019, n. January, p. 1–3, 2019.
- W., P. B. et al. **ANNEX II-Methodol**. [s.l.] IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation, 2011.