

# GEOTERMIA: PRINCIPAIS TÉCNICAS, CONDIÇÕES PARA APLICAÇÕES E ANÁLISE DAS REDUÇÕES DOS IMPACTOS AMBIENTAIS

**Palavras-Chave:** GEOTERMIA, CLIMATIZAÇÃO, GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

**Autores(as):**

**LUCAS DELA COSTA ALBERGARIA, FECFAU – UNICAMP**

**Prof. Dr. PAULO JOSÉ ROCHA DE ALBUQUERQUE (orientador), FECFAU – UNICAMP**

---

## INTRODUÇÃO:

O uso da energia elétrica para as atividades humanas resulta em problemas ambientais, econômicos e sociais, os quais se acentuam ao longo do tempo conforme relatórios e panoramas mundiais (COOPER; JUNIOR, 2013). Um dos problemas é o aumento na emissão de gases de efeito estufa, aspecto ambiental diretamente relacionado ao consumo de energia elétrica (JÚNIOR, 2008).

No século XXI no Brasil ocorreu significativo aumento de consumo de energia elétrica para climatização com o uso de sistemas de ar-condicionado (JÚNIOR, 2008). Esta situação gera um ciclo de degradação, uma vez que o uso do resfriamento artificial intensifica os efeitos do aquecimento global enquanto esse fenômeno exige sistemas de climatização para conforto humano (JÚNIOR, 2008). De acordo com Moraes (2019), a exploração da geotermia é uma alternativa para redução do uso de sistemas de ar-condicionado convencionais, implicando em um menor consumo de energia elétrica.

Cunha et. al. (2020) explica que os estudos apontam que sistemas de climatização com uso da geotermia podem reduzir ao menos 2/3 do consumo de energia elétrica. Uma das principais formas de explorar a geotermia para climatização é através das bombas de calor (GSHP – Ground Source Heat Pump), as quais realizam bombeamentos de fluidos para dentro da fonte geotérmica, aquecendo o fluido e aproveitando a temperatura resultante (CUNHA et. al., 2020). Quando os tubos que o fluido percorre está acoplado ao sistema de fundações por estacas de uma edificação, recebe o nome de “Estacas trocadoras de calor” (CUNHA et. al., 2020).

O aproveitamento da geotermia também pode ser feito através do uso direto das águas subterrâneas aquecidas, com aplicações em atividades turísticas e industriais (RABELO et al., 2002 apud ARBOIT et al., 2013). Outro possível uso da geotermia é através de usinas geotérmicas geradoras de eletricidade. Atualmente, mais de 15 GW de energia elétrica já são geradas mundialmente, utilizando tecnologias como “Flash Steam”, “Dry Steam” e “Binary Cycle” (AKAR, AUGUSTINE, KURUP, 2021).

## METODOLOGIA:

A pesquisa é uma revisão bibliográfica narrativa, cujos objetivos são estudar aspectos práticos e teóricos sobre o uso da geotermia. Para obtenção dos artigos e publicações que foram estudados neste projeto, foram utilizadas plataformas virtuais e artigos científicos publicados em congressos e artigos enviados por professores pesquisadores neste assunto.

As palavras-chave utilizadas para encontrar produções científicas do tema são: “Geotermia”, “Energia geotérmica”, “Climatização”, “Geothermal Heat Pump”, “Geothermal System”, “Geothermal Cooling”, “Geothermal Heating”, “Energy Piles”, “Estacas trocadoras de calor”, “Geothermal Leisure”, “Geothermal pool”, “Hot spring”, “Geothermal Water Park”, “Thermal Water”, “Parque termal”, “Lazer geotermia”, “Thermal park”, “Geothermal direct use”, “Uso direto geotermia”, “Geothermal industry”, “Geothermal industrial activities”, “Usina geotérmica”, “Hot dry rock”, “Flash Steam”, “Dry Steam”, “Binary Cycle” e “Geothermal Power Plant”.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO:**

### **ASPECTOS GERAIS:**

As fontes de energia geotérmica são categorizadas de acordo com suas temperaturas, sendo categorias válidas para solos, rochas, fluido e vapor. Segundo Morais (2019), quando as fontes apresentam temperaturas abaixo de 32°C elas são categorizadas como baixa entalpia, enquanto solos entre 32°C e 150°C são classificados como de média entalpia. Os solos com temperaturas acima de 150°C são de alta entalpia, favoráveis ao uso para geração de energia elétrica (MORAIS, 2019).

No Brasil, predominam solos de baixa entalpia, os quais favorecem o uso para climatização (MORAIS, 2019). As fontes de média entalpia são utilizadas majoritariamente para aplicações diretas, geralmente de água ou fluido aquecido com a geotermia e aplicado nas atividades em uma temperatura próxima a que a fonte se encontra (MORAIS, 2019).

Além da temperatura, a granulometria e saturação do solo são essenciais para determinar a taxa de transferência de calor de um solo. Segundo Neto (2015), solos granulares tendem a apresentar condutividade térmica superior, favorecendo alguns usos, principalmente a climatização de ambientes. Alguns autores brasileiros fizeram testes práticos e concluíram que existe um “ponto ideal” de saturação, ao saturar mais que uma determinada porcentagem o solo perde capacidade de trocar calor. Esse ponto varia de acordo com o solo estudado.

### **GEOTERMIA PARA CLIMATIZAÇÃO:**

Para climatização de ambientes, a utilização mais comum é o sistema de bombas de calor (GSHP – Ground Source Heat Pump), os quais estão em utilização desde 1940 (CUNHA; BOURNE-WEBB, 2022). O sistema é dividido em um circuito primário, o qual conecta o solo à bomba de calor, e um circuito secundário, responsável por conectar o ambiente a bomba (JÚNIOR, 2017). Os autores explicam que o princípio básico de funcionamento dos sistemas de bomba de calor é inserir um sistema de tubulações no solo, circular internamente um fluido com baixa temperatura para receber calor do solo e depois transferir essa energia recebida para a edificação para climatizar o ambiente.

Além das características do solo apresentadas na seção anterior, a montagem dos sistemas interfere diretamente na taxa de transferência. Devem ser levados em conta a quantidade de tubos paralelos acrescentados, qual o formato dos tubos, o material utilizado nas tubulações e o efeito de grupo de estacas.

Um dos sistemas de GSHP mais utilizados são as estacas trocadoras de calor, como exemplificado na Figura 1. Utilizados desde 1980, as tubulações do sistema são acopladas às estacas de uma edificação (MORAIS, 2019).

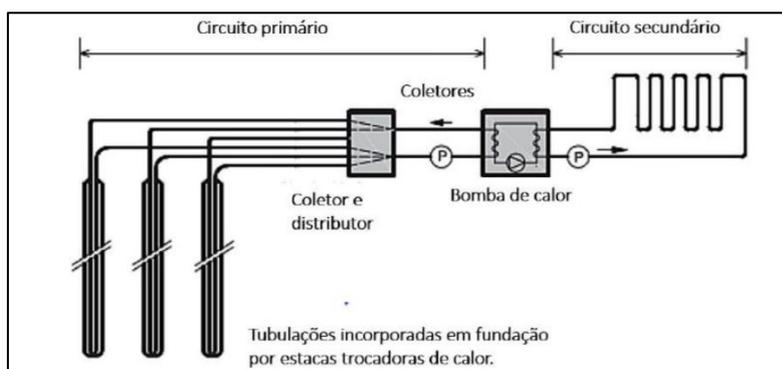


Figura 1 – Esquemática do sistema GSHP – fonte: <https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/40659/2/an%C3%A1lise-num%C3%A9rica-de-estaca%20-%20Andrade%20-%20Monografia.pdf>

## GEOTERMIA PARA GERAÇÃO DE ENERGIA:

As fontes de geotermia de alta entalpia permitem condições para geração de eletricidade. Entre as principais técnicas estão “Hot Dry Rock”, “Flash Steam”, “Dry Steam” e “Binary Cycle” (DINCER; EZZAT, 2018). Segundo Tomasini-Montenegro et. al. (2017), os possíveis usos costumam variar com a faixa de temperatura e a condição em que a fonte geotérmica se encontra.

As fontes de temperatura maior, geralmente acima de 240°C, favorecem o uso de sistemas com uso de “Dry Steam” (LUND et. al., 2008). Como são fontes de temperatura muito elevada, é possível extrair diretamente o vapor do solo ou rocha, o qual é transportado para a usina na superfície para rotacionar uma turbina acoplada a um gerador, resultando na produção de energia elétrica (TOMASINI-MONTENEGRO et. al., 2017).

Temperaturas entre 150°C e 350° podem apresentar fluidos aquecidos, permitindo o uso da tecnologia “Flash Steam” (LUND et. al., 2008). As tecnologias “Flash Steam” utilizam uma válvula de expansão, a qual reduz a pressão do fluido, resultando em diminuição da temperatura de saturação do fluido e permitindo que boa parte vaporize (TOMASINI-MONTENEGRO et. al., 2017). Também pode ser utilizado um separador ciclônico (tipo Webre), o qual utiliza força centrífuga para separar o vapor do líquido (TOMASINI-MONTENEGRO et. al., 2017).

O sistema “Hot Dry Rock” é caracterizado por reservatórios profundos e rochosos, com fluidos insuficientes para serem explorados (TOMASINI-MONTENEGRO et. al., 2017). Nestas situações, é possível explorar a temperatura elevada de rochosos através da injeção de um fluido nas fraturas da rocha, criando um fluxo para extração da temperatura (TOMASINI-MONTENEGRO et. al., 2017).

Caso a temperatura de uma fonte não seja tão elevada ou caso queira elevar a produção de uma usina, é possível utilizar a tecnologia “Binary Cycle” (TOMASINI-MONTENEGRO et. al., 2017). Essa tecnologia utiliza o ciclo de Rankine como base, no qual utiliza-se o calor da fonte geotérmica em um primeiro fluido, o qual aquece um segundo fluido em um ciclo fechado (TOMASINI-MONTENEGRO et. al., 2017). O segundo fluido passa por ciclos de aquecimento, expansão, condensação e compressão, fazendo com que o fluido seja aquecido, seja vaporizado, transfira calor para a turbina acoplada a um gerador e volte a ser fluido em temperatura mais baixa (TOMASINI-MONTENEGRO et. al., 2017). Com a utilização de um segundo de temperatura de ebulição inferior à do primeiro, é possível utilizar essa tecnologia em fontes com temperaturas inferiores a 150°C (LUND et. al., 2008).

## GEOTERMIA PARA LAZER, TURISMO E ATIVIDADES INDUSTRIAIS:

Assim como a climatização de ambientes e edificações com geotermia, o uso dessa fonte energética para atividades industriais e de lazer são considerados uso direto dos recursos geotérmicos (OMIDO, 2019). De acordo com Lund, Toth (2021), em 2019 aproximadamente 18% da energia

geotérmica utilizada no mundo era destinada para banhos e natação, enquanto 1,6% eram utilizados para atividades industriais.

O uso da geotermia para lazer e turismo engloba atividades diversas, incluindo banhos termais, parques aquáticos aquecidos e a observação de fenômenos e ocorrências naturais, tais como gêiseres, piscinas de lama, vulcões de lama e fumarolas (MINGÓN; PIJET-MINGÓN, 2016). A geotermia para atividades industriais está presente em indústrias de vertentes diversas, podendo participar de processos alimentícios, químicos, metalúrgicos, entre outros Lundt, Toth (2021). A maior parte das atividades de lazer, turísticas e industriais utilizam a água aquecida de reservatórios geotérmicos de maneira direta, diferentemente da climatização, a qual utiliza os fluidos como meio de trocas térmicas.

Cada atividade industrial e de lazer possui condições específicas para seu uso, tornando difícil generalizar ou determinar “condições ideais” para uso da geotermia. Como exemplo, a Figura 2 apresenta algumas atividades industriais e quais as faixas de temperatura que possibilitam o uso da geotermia em suas execuções:

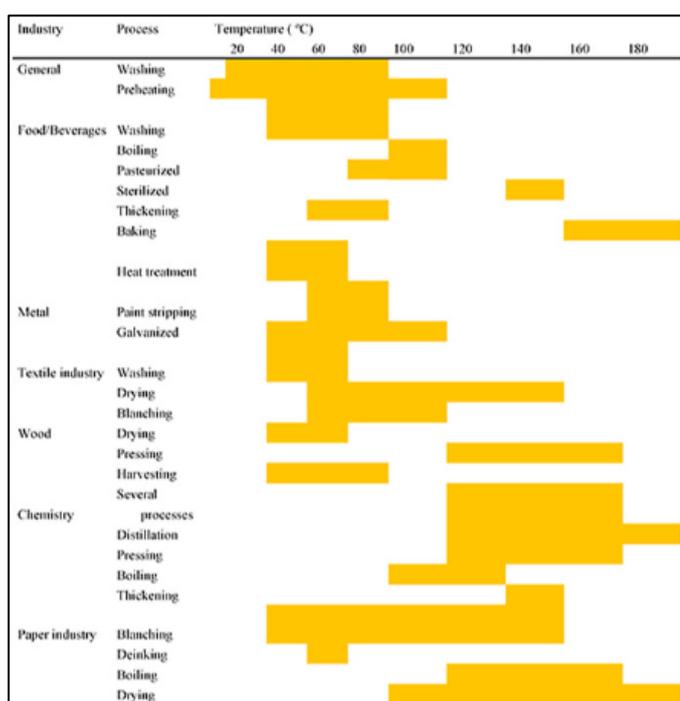


Figura 2 – Possíveis aplicações industriais de acordo com a temperatura da fonte geotérmica – fonte: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148121005942?via%3Dihub>

Para o uso da geotermia, deve-se elaborar projetos de forma a não esgotar a fonte geotérmica, sendo essencial utilizar energia com taxa abaixo da taxa de regeneração (Barbato et al., 2018).

Segundo Vondra et al. (2023), a água que provém dos reservatórios geotérmicos possui a presença de diversos sais em concentrações altas. A combinação dos sais com a temperatura elevada do fluido pode causar danos ao sistema de tubulações das indústrias, sendo necessário utilizar materiais mais resistentes a corrosão e temperatura (VONDRA et al., 2023). Para atividades que envolvam o contato direto da água aquecida com o corpo humano, deve-se avaliar se a concentração desses compostos não causa danos à saúde (VONDRA et al., 2023).

## CONCLUSÕES:

A energia geotérmica é uma fonte de energia renovável, com aplicações diversas ao redor do mundo. No Brasil e em diversos locais, a climatização é possível devido as baixas temperaturas necessárias para que seus

sistemas funcionem. Sistemas GSHP, como exemplo as estacas trocadoras de calor, são uma solução para diminuir o uso de energia elétrica proveniente de fontes não limpas e não renováveis.

Além da climatização, a energia geotérmica possui diversas aplicações diretas, entre elas atividades industriais e de lazer. Cada atividade possui suas condições de operação específicas, não existindo uma condição ideal para operações.

A geração de energia também é possível de ser ampliada com o uso da geotermia. Diversas são as tecnologias possíveis, as quais atendem várias faixas de temperatura. É necessário avaliar corretamente as condições locais para garantir que as fontes geotérmicas não se esgotem com uso excessivo.

A geotermia é uma fonte que pode auxiliar diretamente no combate às mudanças climáticas e ao uso excessivo de combustíveis fósseis. Para isso, é necessário que políticas públicas, conscientização, investimentos e regulamentações sejam construídas de maneira conjunta.

## BIBLIOGRAFIA

- AKAR, Sertaç; AUGUSTINE, Chad; KURUP, Parthiv. **Global value chain and manufacturing analysis on geothermal power plant turbines**. Golden, Thermodynamic Analysis and Optimization of Geothermal Power Plants, Elsevier, 2021
- ANDRADE, Yago. **Análise numérica de estaca trocadora de calor**. Natal, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2017
- ARBOIT, N. et al. **Potencialidade de utilização da energia geotérmica no brasil – uma revisão de literatura**. São Paulo, Revista do Departamento de Geografia, 2013
- BARBATO, Martina. et al. **Feasibility study of a geothermal energy system for indoor swimming pool in Campi Flegrei area**. Thermal Science and Engineering Progress, Elsevier, 2018
- COOPER, Ellison; JUNIOR, Wellyngton. **Aplicação de painéis solares fotovoltaicos como fonte geradora complementar de energia elétrica em residências**. Curitiba, Universidade Federal do Paraná, 2013
- CUNHA, R. et al. **Use of Geothermal Energy Piles to in Ground Source Heat Pump systems for provision of Renewable Heating and Cooling**. Campinas, XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, Editora Cubo, 2020.
- CUNHA, R.; BOURNE-WEBB, P. **A critical review on the current knowledge of geothermal energy piles to sustainably climatize buildings**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Elsevier, 2022.
- DINCER, Ibrahim; EZZAT, Muhammad. **3.4 Renewable Energy Production**. Comprehensive Energy Systems, Elsevier, 2018
- JÚNIOR, Ricardo. **IMPACTO ECONÔMICO DO USO DE AR CONDICIONADO EM EDIFÍCIOS RESIDENCIAIS NA CIDADE DE MACEIÓ/AL**. Maceió, Universidade Federal do Alagoas, 2008
- JÚNIOR, Roberto. **Estudo paramétrico da resposta térmica de grupos de estacas trocadoras em um solo tropical típico do DF**. Brasília, Universidade de Brasília, 2017
- LUND, John, et al. **Characteristics, development and utilization of geothermal resources – a Nordic perspective**. Episodes, Journal of International Geoscience, IUGS, 2008
- LUND, John; TOTH, Aniko. **Direct utilization of geothermal energy 2020 worldwide review**. Geothermics, Elsevier, 2021.
- MIGOÑ, Piotr.; PIJET-MIGOÑ, Edyta. **Geoconservation and tourism at geothermal sites – lessons learnt from the Taupo Volcanic Zone, New Zealand**. Proceedings of the Geologists' Association, Elsevier, 2016.
- MORAIS, Thaise. **Comportamento térmico e termomecânico de fundações por estacas trocadoras de calor em solos não saturados em região de clima subtropical**. São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2019
- NETO, Luis. **Estudo experimental da resposta térmica de fundações por estacas trocadoras de calor em solo não saturado**. São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2015
- OMIDO, Agleison. et al. **Uso da energia geotérmica na construção civil: Um panorama da sua aplicação em edificações brasileiras**. III Encuentro Latinoamericano y Europeo de Edificaciones y Comunidades Sostenibles - EURO ELECS. Santa Fé, ANTAC, 2019
- PALOMO-TORREJÓN, Elisabet. **Economic and environmental benefits of geothermal energy in industrial processes**. Renewable Energy, Elsevier, 2021
- TOMASINI-MONTENEGRO, C., et al. **Life cycle assessment of geothermal power generation technologies: An updated review**. Applied Thermal Engineering, Elsevier, 2017
- VONDRA, Marek. et al. **Technology for Hot Spring Cooling and Geothermal Heat Utilization: A Case Study for Balneology Facility**. Basel, MDPI, 2023.