

Geotermia para Fins de Resfriamento: uma prospecção patentária

Geothermy for Cooling Purposes: a patent prospect

Antonio Cardoso Ferreira¹

Luciane Cleonice Durante¹

Ivan Julio Apolonio Callejas¹

Lucas Ferrari Vera¹

¹Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, MT, Brasil

Resumo

Este artigo trata de uma prospecção patentária acerca do tema de geotermia, que se propõe a utilizar o solo como forma de se trocar calor com o ar. Em consequência da sua alta capacidade térmica, o solo pode trabalhar como um reservatório térmico, aquecendo ou resfriando o ar do ambiente interno das edificações, dependendo das condições climáticas. Assim, o objetivo foi mapear tecnologias relacionadas à geotermia aplicadas ao resfriamento. Utiliza-se a revisão patentária por meio da plataforma Questel Orbit®, tendo sido identificadas 226 patentes. Os resultados evidenciam que entre os maiores cessionários está a Tokai Kogyo, fábrica japonesa com sede em Ōnu, que se sobressai dos outros cessionários, com 15 famílias de patentes, e as tecnologias se relacionam a máquinas e equipamentos do setor de climatização. A pesquisa reconhece os benefícios econômicos e ambientais da geotermia em comparação com soluções tradicionais, muito embora somente um único estudo tenha sido localizado para climas tropicais.

Palavras-chave: Conforto térmico; Patentes; Tubos enterrados.

Abstract

This article deals with a patent prospecting on the subject of geothermal energy, which proposes to use the soil as a way of exchanging heat with the air. As a result of its high thermal capacity, the soil can act as a thermal reservoir, heating or cooling the air inside buildings, depending on the climate conditions. Thus, the objective is to map technologies related to geothermal energy applied to cooling. A patent review was used, through the Questel Orbit® platform, and 226 patents were identified. The results show that among the largest assignees is Tokai Kogyo, a Japanese factory based in Ōnu, which stands out from the other assignees, having fifteen families of patents; the technologies are related to machines and equipment in the air conditioning sector. The research recognizes the economic and environmental benefits of geothermal energy compared to traditional solutions, although only a single study was located for tropical climates.

Keywords: Thermal comfort; Patents; Underground tubes.

Áreas Tecnológicas: Transferência de Tecnologia. Estratégia Tecnológica. Inovação Tecnológica.



1 Introdução

Uma das consequências do aquecimento global é a elevação da temperatura do ar e superficial, bem como a diminuição da umidade do ar, o que impacta na habitabilidade das edificações que operam por meio de sistemas de controle térmico ambiental passivos e ativos. Sob a perspectiva das mudanças climáticas, eventos extremos serão mais recorrentes, especialmente aqueles relacionados com ondas de calor, que podem afetar sobremaneira os processos produtivos que são realizados no interior das edificações (IPCC, 2022).

Um estudo conduzido no Brasil que considerou registros meteorológicos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2023) aponta elevação na frequência das ondas de calor no país nas últimas cinco décadas, em grande parte com as ocorrências concentradas após os anos 2000. Constatou-se, também, que as ondas de calor estão mais duradouras e intensas, o que sugere que as mudanças climáticas globais têm influenciado o campo de temperatura no Brasil (Bitencourt *et al.*, 2016). Diante desse cenário, estratégias de adaptação focadas na redução dos efeitos do aquecimento global são de fundamental importância para o enfrentamento das mudanças climáticas.

Para manter a ambiência e o conforto térmico adequados no interior das edificações, em algumas regiões do Brasil, como em clima de savana, somente o uso de estratégias passivas tem se mostrado insuficiente, sendo necessária elevada demanda de eletricidade para sistemas de condicionamento de ar. Nos cenários de aquecimento global, a aplicação de soluções que possibilitem melhorar as condições térmicas, que sejam renováveis e sustentáveis, mesmo que somadas às fontes convencionais, reduz, além da dependência, os custos com energia elétrica.

Diversas estratégias podem ser propostas para que as edificações reduzam o consumo de energia devido à utilização de equipamentos de ventilação, de aquecimento e ar-condicionado (HVAC, do inglês *Heat, Ventilation and Air Conditioning*), entre elas, o estabelecimento de regulamentos energéticos (programas de etiquetagem e o estabelecimento de níveis mínimos de eficiência, ainda inexistentes no Brasil para esse tipo de edificação); tornar eficiente os sistemas elétricos (ventiladores, exaustores e condicionadores de ar) ou, ainda, trabalhar aspectos que interferem nesses sistemas, como: i) estratégias passivas de adequação da edificação ao clima relacionadas à envoltória da edificação (aberturas, sombreamento e materiais que definem o aquecimento nas paredes e coberturas); e/ou ii) diminuir a temperatura do ar externo admitido nos sistemas, trabalhando com sistema complementar de pré-resfriamento.

Esta última estratégia é objeto de estudo deste artigo, uma vez que a geotermia pode ser utilizada em um sistema de dutos enterrados, promovendo troca de calor por meio do contato indireto entre o ar interno de um ambiente e o solo ao circular pelos dutos (Hazer, 1975). Esse sistema é denominado Trocador de Calor Terra-Ar (em português), ou *Earth To Air Heat Exchanger* (EAHE, em inglês), e é usado em diversas localidades do mundo (Agrawal *et al.*, 2019), principalmente em países de clima frio. Diversos estudos sobre o tema demonstram sua aplicação também no Brasil (Barcelos, 2018; Porto *et al.*, 2018; Santana; Ribeiro, 2019; Sanches *et al.*, 2019; Ômido; Agostinho, 2020), já que a temperatura do solo permanece constante em profundidade de cerca de 2,5 a 3 metros (Ozgener, 2011; Ômido; Barboza; Agostinho, 2021). Em consequência da sua alta capacidade térmica, o solo pode trabalhar como um reservatório térmico, aquecendo ou resfriando o ar do ambiente interno das edificações, dependendo das condições climáticas, o que se denomina sistema geotérmico (Hollmuller, 2006).

O solo, dependendo de sua composição e umidade, possui alta resistividade e capacidade térmica, o que estabiliza a temperatura no sistema de dutos. Dependendo de suas propriedades, a temperatura ao longo da profundidade pode variar entre 10 e 21°C, conforme a posição geográfica e de altitude.

Sabe-se que a geotermia possui custo de implementação inicial maior se comparado a sistemas elétricos convencionais, porém, apresenta baixa manutenção e vida útil mais longa. Nessa perspectiva, o objetivo deste artigo é mapear a tecnologia relacionada à geotermia aplicada ao resfriamento. O estudo permite identificar o desenvolvimento dessa tecnologia no cenário mundial, fornecendo subsídios para trabalhos futuros sobre o tema.

2 Metodologia

A metodologia classifica-se quanto à sua abordagem e aos seus objetivos como qualitativa e exploratória, respectivamente. Quanto à técnica, se trata de uma pesquisa documental que se utiliza de fontes patentárias como dados.

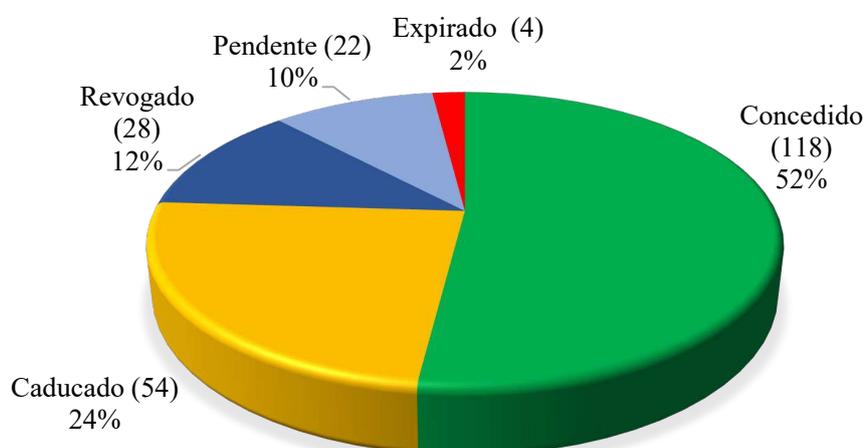
Utilizou-se a plataforma Questel Orbit®, e a pesquisa foi realizada em julho de 2023. Foram utilizados os termos: “cooling” e “geothermal”, com operador booleano “and”, sem filtros em relação à janela temporal e aos países de registro da propriedade intelectual.

Os resultados foram expressos em termos de principais cessionários, a situação atual das patentes por esses cessionários, a visão geral da tecnologia e a identificação de uma única patente no Brasil.

3 Resultados e Discussões

Das 226 patentes mapeadas, 52% estão ativas com *status* de “concedido”, 10% constam como “pendente”, 2% estão como “expirado”, 12% encontram-se como “revogado” e 24% perderam a validade antes do término do prazo normal de proteção, com *status* “caducado” (Gráfico 1).

Gráfico 1 – *Status* das patentes



Fonte: Elaborado com base em Questel Orbit (2023)

A Tokai Kogyo, um dos principais cessionários, possui 1.984 invenções patenteadas, sendo 15 patentes voltadas para sistemas geotérmicos, com forte atuação no Japão, Coreia, Estados Unidos, China, Rússia, França, Reino Unido, Alemanha, Itália, Tailândia, Filipinas e Brasil. Além de atuar com invenções contendo aplicações na Organização Europeia de Patentes (EP) e na Organização Mundial da Propriedade Intelectual (OMPI). Em relação à concentração das invenções, dá-se destaque para o Japão com 171 patentes, em segundo a Coreia com 129 patentes, em terceiro aparece os Estados Unidos com 60 patentes e em quarto lugar a China com 56 patentes.

A geotermia é uma fonte de energia renovável que utiliza o calor natural da Terra para fornecer aquecimento e resfriamento. Ela tem várias vantagens sobre os sistemas tradicionais de aquecimento e de resfriamento, incluindo eficiência energética, redução das emissões de carbono e menor dependência de combustíveis fósseis. A Tokai Kogyo reconheceu o potencial da geotermia e investiu em pesquisa e desenvolvimento para explorar suas aplicações em sistemas de climatização.

A Tokai Kogyo tem um histórico impressionante de inovações no campo da geotermia. Suas invenções abrangem uma variedade de tecnologias e de aplicações que melhoraram significativamente a eficiência e a viabilidade da geotermia para fins de resfriamento e de aquecimento. Essa empresa também desenvolveu sistemas avançados de troca de calor geotérmico que permitem a transferência eficiente de calor entre o solo e os edifícios. Esses sistemas maximizam a eficiência energética e reduzem os custos operacionais.

Os registros de patentes da Tokai Kogyo refletem seu compromisso com a pesquisa e o desenvolvimento no campo da geotermia. Essas patentes não apenas protegem suas inovações, mas também contribuem para a disseminação da tecnologia geotérmica em todo o mundo.

O Quadro 1 apresenta as invenções da Tokai Kogyo envolvendo geotermia para fins de resfriamento de aquecimento, bem como seus respectivos registros de patentes.

Quadro 1 – Principais Invenções

TÍTULO	NÚMERO DA PATENTE
Sistema geotérmico de resfriamento e aquecimento usando uma laje de base do edifício	KR10-1087477
Sistema geotérmico de controle de conversão de água de resfriamento e aquecimento em habitação	KR10-1031676
Um sistema geotérmico de remoção de congelamento para uso rodoviário unidade de refrigeração e aquecimento	KR10-1091210
Sistema geotérmico de refrigeração e aquecimento em um complexo de apartamentos centralizado	KR10-2010-0128520
Sistema geotérmico de controle de temperatura para aquecimento/aparelho de refrigeração	KR10-2010-0128780
Sistema de resfriamento e aquecimento utilizando geotermia	KR10-2010-0128485
Trocador geotérmico oco de pilha para assentamento argamassa de concreto	KR10-0929241
Sistema geotérmico para aquecimento e refrigeração em um prédio de apartamentos	KR10-1092110
Sistema unificado de monitoramento de energia para um prédio de apartamentos usando aquecimento geotérmico/ resfriamento	KR10-1045116

TÍTULO	NÚMERO DA PATENTE
Aquecimento geotérmico e sistema de refrigeração para um prédio de apartamentos sem tanque de compensação	KR10-2010-0128721
Sistema de aquecimento geotérmico para construção temporária e método de construção desse sistema	KR10-1067882
Aquecimento geotérmico e sistema de refrigeração com tubos de balanceamento	KR10-2010-0128729
Sistema tipo pilha de resfriamento e aquecimento utilizou o calor do subsolo	KR10-2004-0055951
Sistema de bomba de calor usando uma fonte de calor mista	KR10-2004-0049213
Sistema de bomba de calor usando uma fonte de calor mista	KR10-2004-0049212

Fonte: Elaborado com base em Questel Orbit (2023)

A patente KR10-1087477 descreve um sistema geotérmico de refrigeração e de aquecimento que utiliza a laje de base de um edifício, em que um tubo do trocador de calor geotérmico é embutido. Esse sistema requer a instalação de um trocador de calor subterrâneo para aproveitar a energia geotérmica. O trocador de calor pode ser instalado de três maneiras: verticalmente, horizontalmente ou conectado diretamente à água subterrânea.

Na instalação vertical, um tubo de polietileno é embutido verticalmente a uma profundidade de cerca de 100 a 200 metros. Esse método é altamente confiável e adequado para locais de construção estreitos e tem excelente desempenho térmico, mas o custo de construção é alto.

Na instalação horizontal, o tubo é embutido horizontalmente a uma profundidade de 1,25 a 1,5 metros. Esse método é de baixo custo, fácil de construir e simples de manter, mas requer um local de instalação amplo e tem desempenho térmico inferior ao método vertical.

A instalação subterrânea conecta os tubos diretamente à água subterrânea. Embora esse método tenha um custo de construção baixo e excelente desempenho térmico, há preocupações sobre a necessidade de uma quantidade sustentada de água subterrânea e a possibilidade de falha do equipamento devido ao teor de água subterrânea.

A seleção da tubulação do trocador de calor pode ser feita com polietileno ou polibutileno, que podem ser conectados por fusão térmica. A escolha leva em consideração a vida útil, o custo de manutenção, a energia necessária da bomba e as condições locais do campo. O diâmetro da tubulação deve equilibrar o consumo de energia e a transferência de calor.

A patente KR10-2010-0128520 descreve um sistema geotérmico de refrigeração e de aquecimento centralizado para um complexo de apartamentos. Especificamente, o sistema é capaz de fornecer resfriamento e aquecimento contínuos por meio de uma bomba de calor instalada em uma sala de máquinas central.

O trocador de calor do solo, identificado como 100, pode ser instalado de três maneiras: vertical, horizontal ou subterrânea, dependendo das condições ambientais e das características da casa. A escolha do tipo de trocador de calor e a seleção da tubulação são feitas considerando o tamanho e o número de casas no complexo.

A bomba de calor é um sistema que utiliza a troca de calor do solo para fornecer resfriamento e aquecimento. Ela pode alternar entre os modos de resfriamento e de aquecimento, alterando o fluxo de um fluido circulante ou água (fria ou quente) de acordo com o modo selecionado. Várias bombas de calor podem ser instaladas como um grupo de bombas de calor geotérmicas.

Em comunidades existentes, como apartamentos e fazendas colunares, os sistemas de aquecimento local são operados por meio da construção de usinas de fusão térmica e similares. Além disso, os aparelhos de ar-condicionado são instalados separadamente em cada unidade para refrigeração.

Como o sistema de aquecimento local não fornece água fria ou fonte de calor para resfriamento, os condicionadores de ar devem ser instalados separadamente, o que pode ser caro e inconveniente. Além disso, as unidades externas normalmente são instaladas ao lado da janela, permitindo que o ar quente entre novamente quando a janela é aberta.

O aquecimento individual requer a instalação de caldeiras e aparelhos de ar-condicionado individuais, o que pode ser insatisfatório em termos de utilização do espaço e custo.

No entanto, com o sistema centralizado de refrigeração e de aquecimento geotérmico descrito na invenção, uma bomba de calor que utiliza energia geotérmica é instalada em uma sala de máquinas central, eliminando a necessidade de instalar bombas de calor separadas em cada unidade. Isso permite a instalação de um *fan coil* (um sistema de refrigeração composto de um ventilador e uma serpentina) no teto de cada unidade para resfriamento. Isso mantém uma temperatura confortável durante o resfriamento e o aquecimento, e o tubo de resfriamento e de aquecimento, ou *fan coil*, pode ser usado tanto para resfriamento quanto para aquecimento, juntamente com o piso aquecido, tornando a instalação e a operação mais econômicas.

A patente KR10-1045116 descreve um sistema de monitoramento integrado de energia para casas conjuntas que utilizam refrigeração e aquecimento geotérmico. Esse sistema monitora o estado operacional do sistema geotérmico, incluindo a temperatura de refrigeração e de aquecimento de uma sala. Ele permite ao usuário gerenciar a energia de maneira eficiente, fornecendo dados em tempo real sobre o uso de água quente.

As fontes de energia comumente utilizadas são principalmente combustíveis fósseis e nucleares, como carvão, petróleo e gás natural. No entanto, esses combustíveis têm desvantagens, como a geração de poluentes atmosféricos e substâncias nocivas, como contaminação da água e radiação. Além disso, há limitações na quantidade disponível desses combustíveis, tornando-os insustentáveis como fontes de energia a longo prazo.

Por isso, tem havido um progresso ativo no desenvolvimento de fontes de energia alternativas, como vento, calor solar e geotérmico. Essas fontes têm a vantagem de reduzir a poluição ambiental e serem inesgotáveis, mas é fundamental torná-las densas e disponíveis para uso.

Uma dessas técnicas é o sistema de bomba de calor, que realiza refrigeração e aquecimento utilizando o calor geotérmico como fonte de calor. A bomba de calor absorve calor de baixa temperatura e o converte em calor de alta temperatura. O calor de alta temperatura liberado do condensador é usado para aquecimento, enquanto o calor frio resfriado pelo evaporador é usado para resfriar um edifício, permitindo refrigeração e aquecimento simultâneos.

O sistema de bomba de calor que utiliza a fonte geotérmica tem a vantagem de ser a tecnologia de refrigeração e aquecimento mais eficiente em termos térmicos e energéticos, pois permite armazenar frio e calor no solo. Isso é particularmente útil em uma situação atual em que há escassez de recursos energéticos e os custos de produção de energia são altos.

Em uma casa comum que utiliza esse sistema de refrigeração e de aquecimento geotérmico, o estado operacional do sistema é monitorado e controlado dentro ou fora de cada habitação. O sistema de monitoramento é capaz de monitorar e de controlar o uso de gás, água e água quente, gerenciando, assim, de forma eficiente a energia de refrigeração, o aquecimento, a eletricidade, o gás, a água e similares.

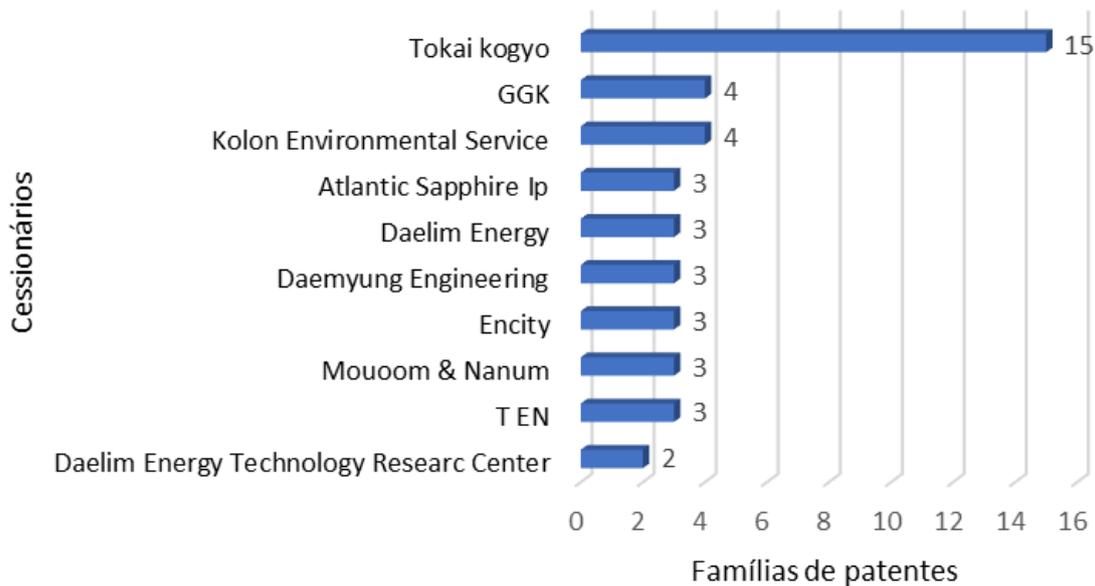
O sistema de monitoramento integrado de energia de uma casa conjunta de refrigeração e de aquecimento geotérmico, de acordo com a presente invenção, inclui medidores para cada geração, repetidores conectados aos medidores para receber o estado e o uso detectado dos medidores, e blocos de parede que recebem, processam, exibem e armazenam o estado e o uso detectado dos medidores de cada geração de repetidores.

O sistema inclui uma conexão de gás ligada a um suporte de parede, projetada para detectar vazamentos de gás. Quando um vazamento é detectado, o sistema transmite um sinal para o suporte de parede, aciona um alarme e interrompe o fornecimento de gás. Há também vários sensores de temperatura interna instalados em cada unidade que detectam e transmitem a temperatura interna para o revestimento de parede. Esses sensores estão configurados para enviar dados em tempo real para um servidor integrado de gerenciamento de fazenda. Além disso, um sensor de temperatura externa é instalado fora de um estabelecimento público para monitorar a temperatura do ar externo e transmitir essas informações para o servidor integrado de gerenciamento agrícola.

Quando se avaliam os principais detentores de patentes, destaca-se a Tokai Kogyo, uma renomada indústria japonesa do setor automobilístico que, com quatro instalações e sua sede em Ōnu, se destaca dos demais cessionários ao deter 15 famílias de patentes (como demonstrado no Gráfico 2). Os outros cessionários relevantes incluem:

- a) GGK Company Limited: empresa coreana do setor de energia, detentora de quatro patentes.
- b) Kolon Environmental Service: empresa sul-coreana especializada na fabricação de insumos para a construção civil que ostenta três patentes.
- c) Atlantic Sapphire Ip: empresa sediada na Flórida, voltada para o ramo de pescados, que também possui três patentes.
- d) Daelim Energy: empresa coreana com três patentes em seu portfólio.
- e) Daemyung Engineering: empresa coreana que abrange automação, energia solar e semicondutores, também com três patentes.
- f) Encity: empresa de planejamento urbano baseada em Singapura, que mantém três patentes.
- g) Mouoom & Nanum: empresa coreana atuante nos setores de tecnologia e meio ambiente, que também registra três patentes.
- h) Tecnologia de Economia de Energia Kunshan Klimasystemtechnik (TEN): empresa focada em engenharia civil, processos e aparelhos térmicos.
- i) Daelim Energy Technology Research Center: empresa coreana especializada no ramo da construção, detentora de duas patentes.

Gráfico 2 – Principais Cessionários



Fonte: Elaborado com base em Questel Orbit (2023)

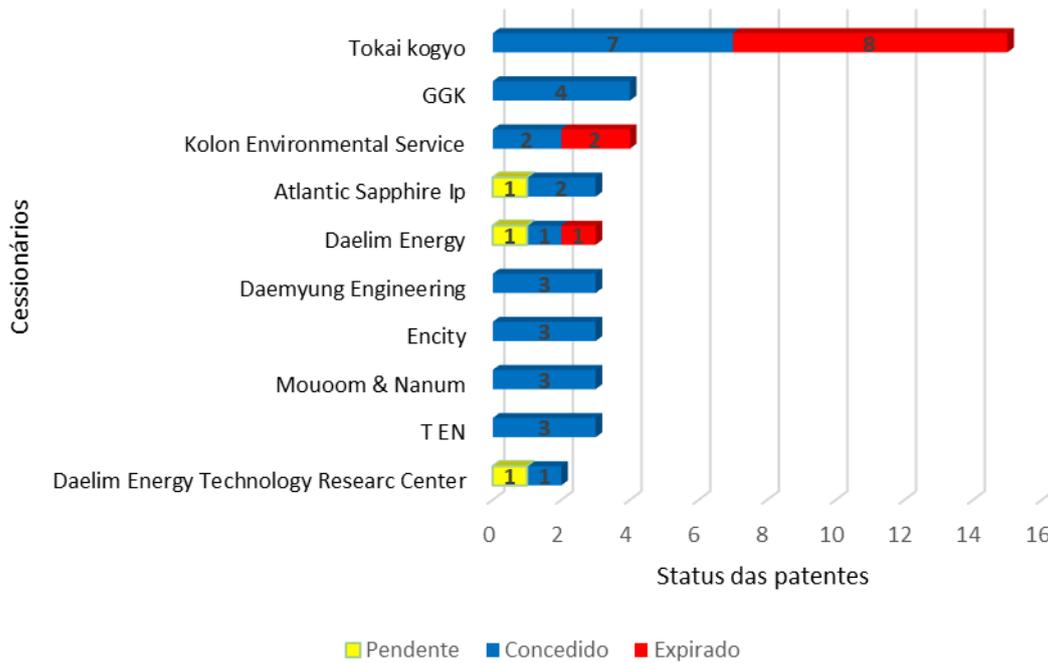
Essa análise demonstra a diversidade de cessionários atuando em várias áreas e regiões, ressaltando a liderança contínua da Tokai Kogyo no campo das patentes e sua dedicação à inovação.

No que diz respeito à situação das patentes por cessionário, é evidente que a Tokai Kogyo continua liderando, mesmo tendo oito patentes expiradas, ainda mantendo uma posição dominante com sete patentes concedidas, conforme ilustrado no Gráfico 3.

Essa manutenção da liderança da Tokai Kogyo é notável, pois mesmo com algumas patentes expiradas, a empresa conseguiu obter sucesso na obtenção de novas patentes, demonstrando seu compromisso contínuo com a inovação e a pesquisa no campo da geotermia. Esse feito é um indicativo claro de sua *expertise* e liderança na área.

Além disso, a capacidade da Tokai Kogyo de manter uma posição de destaque sugere que suas inovações e avanços continuam a ser reconhecidos e valorizados no mercado, destacando a importância de suas contribuições para o desenvolvimento da geotermia aplicada ao resfriamento e ao aquecimento.

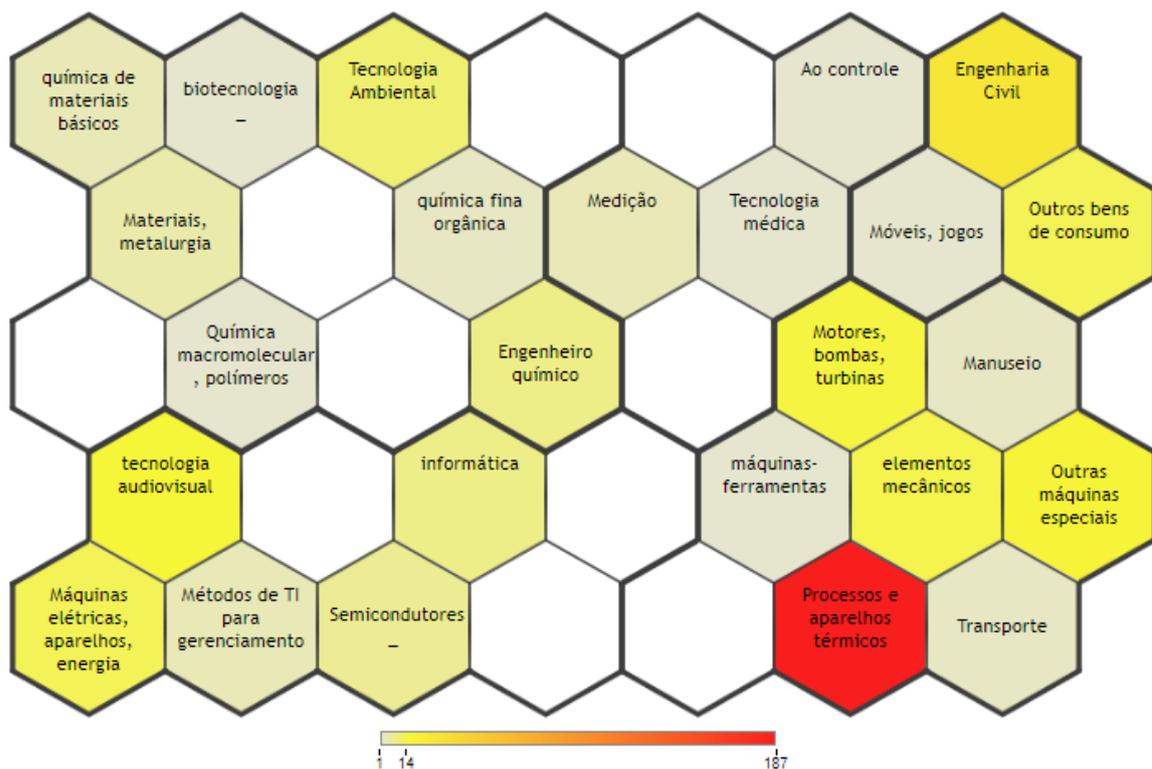
Gráfico 3 – Situação atual das patentes por cessionários



Fonte: Elaborado com base em Questel Orbit (2023)

Sobre a visão geral da tecnologia relacionada às patentes, percebe-se uma concentração de patentes no setor de processos e de aparelhos térmicos (destacado em vermelho na Figura 1), do que se conclui que a aplicação da geotermia tem ocorrido nessa área tecnológica.

Figura 1 – Visão geral da tecnologia



Fonte: Elaborada com base em Questel Orbit (2023)

No Brasil, destacado em verde, foi encontrada uma patente, com número BR112014022065 A0, que se refere a um aparelho de bomba de calor geotérmica, que tem como função resfriar a superfície do solo, dissipar calor lentamente para o ambiente e liberar o excesso de calor gerado em um sistema de geração de energia solar, de forma eficiente e econômica. Foi depositada em 5 de março de 2013, no Brasil, Estados Unidos, União Europeia, Marrocos, Índia, África do Sul, Organização Regional de Propriedade Industrial Africana e Organização Europeia de Patentes. No Brasil, encontra-se com *status* “pendente” desde 2 de dezembro de 2014 em função de reivindicações (Figura 2).

Figura 2 – Localização de mercados



Fonte: Elaborada com base em Questel Orbit (2023)

4 Considerações Finais

Ao analisar os principais detentores de patentes, destaca-se a presença marcante da Tokai Kogyo, fabricante japonesa, líder de fabricação. Com quatro fábricas e sede em Ōnu, a Tokai Kogyo tem uma forte atuação com 15 famílias de patentes. Essa ênfase na inovação e na proteção intelectual não apenas reflete a importância da empresa no cenário industrial, mas, também, destaca o papel crucial das patentes como meio de garantir a singularidade e o valor das inovações em um ambiente altamente competitivo.

Conclui-se que, ao analisar a situação das patentes por cessionário, observa-se um cenário intrigante. Mesmo a Tokai Kogyo tendo oito patentes expiradas, sua posição de destaque persiste em relação aos demais cessionários, com a conquista de sete patentes concedidas. Esse panorama demonstra a capacidade contínua da Tokai Kogyo de inovar e de proteger sua propriedade intelectual, mesmo quando algumas de suas patentes alcançam o término de sua vigência.

Em suma, ao analisar a tecnologia relacionada às patentes, fica evidente um panorama abrangente de avanços técnicos e de inovações no setor de processos e aparelhos térmicos. Essa área se destaca notavelmente em comparação com outras, indicando uma concentração significativa de esforços e de investimentos nesse campo específico.

No entanto, considerando a abordagem desta pesquisa, que se volta para a aplicação da geotermia em climas tropicais, vislumbra-se elevado potencial de crescimento, visto que apenas um registro foi encontrado no Brasil, BR112014022065 A0, uma invenção que se refere a um aparelho de bomba de calor geotérmica.

5 Perspectivas Futuras

As descobertas e as inovações no uso da geotermia para fins de resfriamento em climas tropicais abrem um leque promissor de aplicações práticas, especialmente em contextos de sustentabilidade e de eficiência energética. A geotermia tem o potencial de resfriar edifícios comerciais e residenciais de forma eficaz, reduzindo a necessidade de sistemas de ar-condicionado convencionais, que consomem muita energia. Uma das principais aplicações práticas seria em edifícios, como centros comerciais, hospitais e universidades, nos quais a demanda por climatização é alta e constante. Além disso, a geotermia pode ser integrada em projetos de construções verdes, ajudando a mitigar a pegada de carbono e a atender às metas de energia limpa.

No entanto, os desafios na implementação dessas tecnologias em climas tropicais são consideráveis. As condições climáticas, com solo mais quente em certas profundidades, podem exigir adaptações nos sistemas geotérmicos para garantir a eficiência desejada.

A falta de conhecimento técnico especializado também pode limitar a adoção e a manutenção dos sistemas, aumentando os custos iniciais de implementação. Outro obstáculo está relacionado à infraestrutura existente na edificação, que pode não estar preparada para integrar esses novos sistemas, exigindo investimentos consideráveis em adaptações.

O Plano Decenal de Energia 2050 (EPE, 2024) já projeta o uso da climatização geotérmica como uma solução disruptiva, sendo uma medida essencial para reduzir a demanda energética e as emissões de carbono, tanto no setor privado quanto no setor público. Com isso, espera-se que este artigo traga importantes contribuições ao fornecer informações detalhadas sobre a geotermia e ao incentivar a implementação de soluções inovadoras e sustentáveis para climatização de grandes ambientes.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Mato Grosso (Fapemat) – processo Fapemat-PRO-2022/01047 – e à Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT) pelo apoio durante o desenvolvimento deste trabalho.

Referências

AGRAWAL, K. K. *et al.* The state of art on the applications, technology integration, and latest research trends of earth-air-heat exchanger system. **Geothermics**, [s.l.], v. 82, p. 34-50, 2019.

BARCELOS, R. H. **Viabilidade técnica e econômica do condicionamento geotérmico de edificações no Rio Grande do Sul**. 2018. 161p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

BITENCOURT, D. P. *et al.* Frequência, Duração, Abrangência Espacial e Intensidade das Ondas de Calor no Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v. 31, n. 4, p. 506-517, 2016.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Plano Decanal de Energia – 2050**. 2024. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Nacional-de-Energia-2050>. Acesso em: 20 ago. 2024.

HAZER, H. The use of Earth Covered Buildings. *In*: PROCEEDINGS OF CONFERENCE ON ALTERNATIVES IN ENERGY CONSERVATION: THE USE OF EARTH-COVERED BUILDINGS. 1975, Texas: US GPO. p. 21-36. **Anais [...]**. Texas, 1975.

HOLLMULLER, P. *et al.* **Potential of buried pipes systems and derived techniques for passive cooling of buildings in Brazilian climates**. AIVC. 2006. Disponível em: <http://www.labee.ufsc.br/sites/f>. Santa Catarina, 2006. Acesso em: 11 maio 2023.

INMET – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Portal Inmet**. 2023. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/noticias/ondas-de-calor-s%C3%A3o-resultados-das-altera%C3%A7%C3%B5es-clim%C3%A1ticas-nos-%C3%BAltimos-60-anos>. Acesso em: 15 mar 2024.

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2022: Synthesis Report**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, Switzerland, 2022. ÔMIDO, A. R.; AGOSTINHO, V. P. Análise da geotermia superficial de Ouro Verde – SP para climatização do ambiente construído mediante o potencial energético do solo local. *In*: XI CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL. Vitória, ES, 2020. **Anais [...]**. Vitória, ES, 2020.

ÔMIDO, A. R.; BARBOZA, C. S.; AGOSTINHO, V. P. Monitoramento da temperatura do subsolo de Ouro Verde – SP para embasar a utilização da energia geotérmica superficial na climatização do ambiente construído. *In*: XII CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL. Salvador, BA, 2021. **Anais [...]**. Salvador, BA, 2021.

OZGENER, L. A review on the experimental and analytical analysis of earth to air heat exchanger (EAHE) systems in Turkey. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 15, p. 9, 2011.

PORTO, A. H. H. *et al.* Geotermia aplicada às edificações e relações com a cobertura do solo e consumo de energia. *In*: CARAGNANI, G.; DURANTE, L. C.; SANCHES, J. C. M. (org.). **Habitação de Interesse Social em Mato Grosso: Contribuições Científicas**. Cáceres, MT: Editora Unemat, 2018.

QUESTEL ORBIT. **Página de busca**. 2023. Disponível em: <https://www.orbit.com/#PatentRegularAdvancedSearchPage>. Acesso em: 10 jul. 2023.

SANCHES, Í. S. *et al.* A prelude to the utilization of surface geothermal energy in the climatization of the constructed environment in the City of Naviraí, Mato Grosso do Sul State, Brazil. **Research, Society and Development**, [s.l.], v. 9, n. 10, e4909108864, 2020.

SANTANA, B. G.; RIBEIRO, M. E. **Implementação de permutador de calor solo-ar (EAHE) para melhorar o conforto térmico de edificações**. 2019. 75p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2019.

Sobre os Autores

Antonio Cardoso Ferreira

E-mail: cardosomet@hotmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-7883-5444>

Mestrando em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para a Inovação pela Universidade Federal do Mato Grosso.

Endereço profissional: Av. Fernando Correa, s/n, Coxipó da Ponte, Cuiabá, MT. CEP: 78060-900.

Luciane Cleonice Durante

E-mail: luciane.durante@ufmt.br

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-9910-2719>

Doutora em Física Ambiental pela Universidade Federal do Mato Grosso em 2012.

Endereço profissional: Av. Fernando Correa, s/n, Coxipó da Ponte, Cuiabá, MT. CEP: 78060-900.

Ivan Julio Apolonio Callejas

E-mail: ivan.callejas@ufmt.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7877-7029>

Doutor em Física Ambiental pela Universidade Federal do Mato Grosso em 2012.

Endereço profissional: Av. Fernando Correa, s/n, Coxipó da Ponte, Cuiabá, MT. CEP: 78060-900.

Lucas Ferrari Vera

E-mail: lucas.ferrari.vera@hotmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-3885-7935>

Graduando em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Federal do Mato Grosso.

Endereço profissional: Av. Fernando Correa, s/n, Coxipó da Ponte, Cuiabá, MT. CEP: 78060-900.