



# XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

Avanços no desempenho das construções – pesquisa, inovação e capacitação profissional

12, 13 E 14 DE NOVEMBRO DE 2014 | MACEIÓ | AL

## O ESTADO DA ARTE SOBRE O USO DA GEOTERMIA NA ARQUITETURA

FONSECA, Ingrid (1); CASALINI, Thaiana (2); TUCCI, Fabrizio (3); BATTISTI, Alessandra (4)

(1) Universidade Federal do Rio de Janeiro, [ingrid.c.l.fonseca@gmail.com](mailto:ingrid.c.l.fonseca@gmail.com), (2) Universidade Federal do Rio de Janeiro, [thaianacasalini@gmail.com](mailto:thaianacasalini@gmail.com), (3) Università degli Studi di Roma La Sapienza, [fabrizio.tucci@uniroma1.it](mailto:fabrizio.tucci@uniroma1.it), (4) Università degli Studi di Roma La Sapienza, [alessandrabattisti@libero.it](mailto:alessandrabattisti@libero.it)

### RESUMO

O artigo surge do interesse pela ampliação do conhecimento na área do conforto ambiental e constante busca de formas para a minimização das emissões e do consumo energético pelas edificações, alinhando-se aos princípios de sustentabilidade do setor construtivo. Serão apresentados os resultados iniciais da pesquisa em andamento intitulada “Uso de fontes alternativas e renováveis de energia incorporadas à arquitetura” conduzida no Grupo de Estudos em Arquitetura, Conforto Ambiental e Eficiência Energética FAU UFRJ em parceria com a Università degli Studi di Roma La Sapienza na linha de pesquisa “Efficientamento energetico e bioclimatico degli edifici”. O trabalho, calcado essencialmente em revisão bibliográfica, tem como principal objetivo a construção do estado da arte sobre o uso da geotermia em edificações, suas potencialidades e benefícios para a redução de emissões e do consumo energético. Trata-se de estratégia passiva para conforto térmico, que tira proveito da temperatura do subsolo próximo à superfície pelo uso de condutores de ar subterrâneos, para pré aquecer os ambientes no inverno, ou pré resfriá-los no verão: uma tecnologia pouco explorada no Brasil, mas com exemplos de aplicação na Itália, Alemanha, Canadá, nos EUA, e diversos outros países. Assim, serão apresentados os resultados de vasta pesquisa bibliográfica de caráter exploratório, com breve descrição da tecnologia e exemplos ilustrativos de aplicação em contextos climáticos diversos, evidenciando a necessidade de maior exploração em contexto nacional para auxiliar no condicionamento passivo em edificações, já que o aproveitamento do potencial geotérmico pode contribuir para a redução da dependência de sistemas artificiais para o conforto térmico. Pretende-se assim, avançar na discussão sobre a não utilização da tecnologia, hoje atribuída à ausência de dados disponíveis sobre características dos solos e aos altos investimentos para sua implementação. Acredita-se que a produção de conhecimento, estimulando a demanda, contribuirá para futuras pesquisas, investimentos e para a redução de custos.

**Palavras-chave:** Energias Renováveis em Arquitetura, Geotermia, Conforto Térmico.

### ABSTRACT

*This paper stems from an interest in the expansion of knowledge of environmental comfort and the constant search for ways to minimize emissions and energy consumption by buildings, aligned to the principles of sustainability in the construction sector. The initial results of ongoing research entitled "Usage of alternative and renewable energy sources in architecture" carried out at Group of Studies in Architecture, Environmental Comfort and Energy Efficiency FAU UFRJ in partnership with Università degli Studi di Roma La Sapienza in its line of research "Efficientamento energetico e bioclimatico degli edifici". The work aims to present the state of art about the use of geothermal energy in buildings, its potentiality and benefits for reducing emissions and energy consumption. This is a passive strategy for thermal comfort, which takes advantage of the temperature of the subsoil near the surface, through the use of underground air ducts for pre heating rooms in winter, or pre cool them in summer: a technology not much explored in Brazil, but with application examples in Italy, Germany, Canada, the U.S. and several other countries. So, it's the result of an extensive bibliography exploratory research with a brief description of the technology and illustrative examples of its application in various climatic contexts,*

*highlighting the need for further exploration in national context to assist in passive conditioning in buildings, since the use of geothermal potential can contribute to reducing dependence on artificial systems for thermal comfort. The aim is to move forward the discussion on the non-use of this technology, nowadays attributed to the lack of available data of soil characteristics and to the high investments for its implementation. It is believed that the production of knowledge, stimulating demand, will contribute to future researches, investments and cost reductions.*

**Keywords:** *Renewable Energy in Architecture, Geothermal, Thermal Comfort.*

## **1 INTRODUÇÃO**

O artigo surge do constante interesse por meios de reduzir o consumo de energia e de emissões pelas edificações, numa contribuição para a ampliação do conhecimento na área do conforto ambiental alinhado aos princípios de sustentabilidade do setor construtivo.

Tem como objetivo principal a construção do estado da arte sobre o uso da geotermia em edificações: uma estratégia passiva para o conforto térmico, que tira proveito da temperatura do subsolo próximo à superfície através do uso de condutores de ar subterrâneos, para pré aquecer os ambientes no inverno, ou pré resfriá-los no verão. Esta estratégia, conhecida como geotermia superficial é também chamada de geotermia a baixa entalpia, diferente da geotermia a alta entalpia, aquela que utiliza as altas temperaturas das grandes profundidades da Terra para geração de energia elétrica.

Para isso, serão apresentados os resultados iniciais da pesquisa em andamento intitulada “Uso de fontes alternativas e renováveis de energia incorporadas à arquitetura” conduzida no grupo de Estudos em Arquitetura, Conforto Ambiental e Eficiência Energética AMBEE FAU UFRJ em parceria com a Università degli Studi di Roma La Sapienza, apresentando as potencialidades e benefícios do sistema para redução do consumo energético e emissões, uma vez que pré condiciona os espaços reduzindo a necessidade do uso de equipamentos artificiais para tal. Os resultados aqui apresentados derivam de extensa pesquisa bibliográfica de caráter exploratório, ilustrados com exemplos de aplicação.

O potencial geotérmico dos solos para uso direto, ou seja, para o condicionamento de edificações, através de uma segunda rede de tubos incluídos no interior das lajes e paredes, tem sido explorado em diversos países do mundo e em diferentes contextos climáticos, porém, pouco utilizado no Brasil, mas merecedor de maior atenção dos pesquisadores.

Pretende-se assim, promover um avanço na discussão sobre os impedimentos para sua utilização no país, hoje atribuídos à falta de informações para tal, à falta de demanda em projetos e aos altos custos de investimento para sua implantação. Entendemos que a construção do conhecimento, alimentará pesquisas que, por sua vez, criarão subsídios para seu uso, implicando na maior demanda em projetos e contribuindo para a redução de custos para sua implementação.

## **2 PRINCÍPIOS GERAIS DO FUNCIONAMENTO DA GEOTERMIA EM ARQUITETURA**

O princípio do uso da geotermia para o condicionamento passivo de edificações, chamados sistemas de condutores subterrâneos ou tubos enterrados, se baseia no fato de que a temperatura do subsolo a poucos metros de profundidade tende a ser mais amena e, em determinadas profundidades, mais estável que a temperatura do ar exterior, com amplitudes de cerca de 1°C a 2°C ao longo do ano, de acordo com Neto e Voltani

(2013). Assim, em climas ou períodos quentes, a temperatura tende a ser mais fresca e, em climas ou períodos frios, tende a ser menos agressiva.

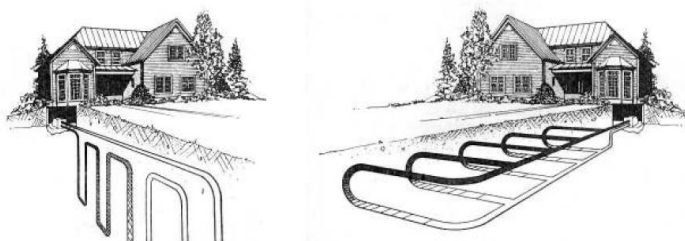
O sistema utiliza ar, fluido refrigerante ou solução salina e pode ser aberto ou fechado. Um exemplo de sistema aberto é pela entrada do ar exterior (naturalmente ou com auxílio mecânico) que, passando pelos condutores enterrados e trocando calor com a temperatura do solo, é injetado no interior da construção. Sua vantagem está na simplicidade de execução e custo reduzido para instalação. A desvantagem está na dependência da temperatura do ar exterior. Porém, reduções médias de até 4°C foram registradas por Chinellato (2013) em medições realizadas em casas populares utilizando o resfriamento geotérmico em diversos locais do Brasil (Neto e Voltani, 2013).

Pode ainda ser um sistema que utilize de bombas de calor (chamadas *heat pumps*), utilizando o solo ou a água (de superfície ou subterrânea, com ou sem aditivos refrigerantes) como trocador de calor. É um sistema termodinâmico, que promove a circulação do fluido refrigerante pelos tubos propiciando a climatização e após circular pelo sistema, o fluido retorna à base e o sistema volta a trabalhar. Diferentemente dos sistemas abertos, não depende da temperatura do ar exterior, mas da temperatura do subsolo, mais constante. Contudo, tal recurso impacta no custo de instalação e, para o funcionamento das bombas, é utilizada energia elétrica. Mas, mesmo assim, Neto e Voltani (2013) apontam para uma redução de cerca de 30% do consumo energético pelos sistemas fechados, quando comparada aos sistemas artificiais. Porém, Musskopf (2006) lembra que tal dado deve ser avaliado caso a caso, de acordo com a relação entre a temperatura do subsolo e a de conforto, que irá determinar a eficiência do sistema e a necessidade de complementação por equipamentos artificiais convencionais. Tais sistemas reduzem ainda a emissão de CO<sub>2</sub>, quando comparados aos convencionais para condicionamento de ar.

O dimensionamento dos sistemas de tubulações enterradas é feito de acordo com a demanda por aquecimento ou resfriamento e, em casos de não atendimento à demanda, pode ser utilizada em combinação com sistemas mecânicos ou artificiais, compondo os sistemas híbridos.

A área necessária para a instalação das tubulações deve ser disponibilizada no terreno, seja verticalmente (na direção da profundidade do subsolo), ou horizontalmente (pela extensão do subsolo), de acordo com a área disponível e o tipo de solo, conforme mostrado na Figura 1. Ambas possuem vantagens e desvantagens. No primeiro caso, a área de terreno necessária para a instalação é menor e o sistema se beneficiará da maior estabilidade de temperatura dada à maior profundidade da instalação. Porém, o mesmo torna-se uma desvantagem, na medida em que é preciso perfurar maior profundidade do solo de modo a receber as tubulações. No segundo caso, de instalações horizontais, uma grande vantagem é o menor custo associado à menor perfuração, com a desvantagem de que em menores profundidades, as temperaturas tendem a apresentar maior flutuação, segundo Musskopf (2006).

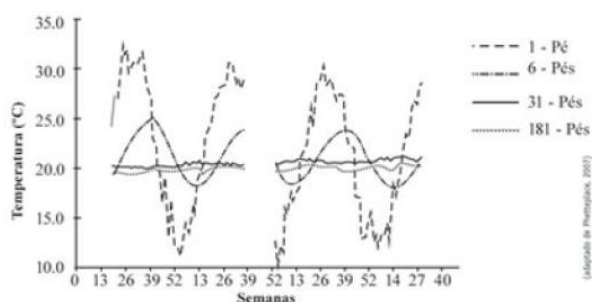
**Figura 1 – Exemplos de instalação de tubos subterrâneos verticais e horizontais**



Fonte: Fisk; Turiel, 1995 apud Musskopf (2006)

Phetteplace (2007, apud Neto e Voltani, 2013), consultor, professor e pesquisador norte americano apresentou um exemplo de registro de temperatura do solo no tempo, e verificou que em profundidades a partir de 9,5 metros (31 pés) não foram verificadas variações significativas, conforme mostra a Figura 2.

**Figura 2 – Exemplo de registro de temperatura do solo**



Fonte: Neto e Voltani (2013)

Porém, Jacovides *et alli* (1996, apud Musskopf, 2006) lembram que dados de temperatura e as propriedades dos solos só podem ser utilizados localmente.

De acordo Nogueira e Pralon (2011), dados experimentais mostraram que a poucos metros de profundidade (a partir de 2m, em alguns casos) a temperatura do solo é praticamente igual à temperatura média anual do ar ambiente no respectivo local, o que causa uma redução do consumo energético para que sejam alcançadas temperaturas de conforto, tendo seu rendimento incrementado especialmente em locais com grande amplitude térmica anual.

Cuidados dever ser tomados, com relação à qualidade do material das tubulações, suas vedações e sistemas para controle de umidade por condensação. De acordo com o professor André Avelar do Instituto de Geociências da UFRJ, por meio de comunicação pessoal em março de 2014, o solo sofre influência das chuvas e as tubulações estão também sujeitas à corrosão pela oxidação do solo. Por isso, devem ser protegidas para evitar mofo e degradação. Outra preocupação, segundo Neto e Voltani, deve ser a regeneração do solo que, no caso de retirar calor do ar, terá sua temperatura próxima aos tubos, ligeiramente alterada, reduzindo a diferença de temperatura entre solo e fluido refrigerante, afetando, a longo prazo, o rendimento do sistema..

### **3 PANORAMA MUNDIAL SOBRE A APLICAÇÃO DA GEOTERMIA NA ARQUITETURA**

A primeira rede moderna de aquecimento urbano abastecida por energia geotérmica surgiu em 1930, na Islândia, e que deu o impulso para que o sistema começasse a ser adotado pelo mundo (Cruz, 2013). Após da Segunda Grande Guerra, começaram a surgir as primeiras instalações com bombas de calor geotérmica em habitações, tendo sua primeira instalação em uma casa em Indianápolis, Indiana, nos EUA, em 1945, mas só a partir dos anos 90, as bombas de calor geotérmicas tiveram maior desenvolvimento, devido à alta do preço do petróleo. Hoje, a tecnologia é muito explorada na América do Norte e Europa, onde diversos países possuem programas de incentivo para pesquisas e aplicação desta estratégia passiva que contribui para o conforto térmico e redução do consumo energético em edificações. Diante da infinidade de exemplos de aplicação no mundo, decidiu-se por destacar neste artigo os pioneiros e/ou os que representem marcos dentro de planos de incentivo em seus países. Para as ilustrações, foram selecionados os que disponibilizam esquemas de instalação do sistema de geotermia.

#### **3.1 Europa**

De acordo com Cruz (2013), os pioneiros no uso da geotermia superficial são a Áustria, Alemanha e Suíça, que possui 50 mil pequenas instalações geotérmicas que abastecem casas, indústrias e hotéis. A Islândia se destaca, pela cidade de Reykjavik que possui o maior sistema de aquecimento geotérmico do planeta, utilizando água quente natural para fornecer calor a edifícios e casas desde 1930.

Os Países Baixos também figuram como fortes representantes no desenvolvimento de sistemas geotérmicos, onde os primeiros sistemas de armazenamento de energia a baixas profundidades foram realizados nos anos 80, tendo como exemplo o edifício da sede central da Nike na Europa, em Hilversum, de 1996. Segundo a empresa IF Technology, especializada em energia Geotérmica nos Países Baixos, com o Protocolo de Kyoto, pesquisas ganharam força e o mercado para sistemas geotérmicos cresceram muito.

Na Bélgica, no final dos anos 90, foram realizados os primeiros projetos com armazenamento de energia, como exemplo há o Banco CERA, em Leuven, de 1999. No Reino Unido, em 2006 foi realizado o primeiro projeto, em Londres, o Complexo Westway. Na Noruega, destaca-se o Aeroporto de Oslo.

O projeto europeu Ground-Med, reuniu Universidades da Europa, institutos de pesquisa, empresas do ramo, associações industriais e consultores, para avaliar o impacto desta tecnologia em regiões junto ao Mediterrâneo. Foram realizados estudos em oito protótipos instalados em sete países, sendo eles Portugal, França, Romênia, Slovênia, Espanha, Grécia e Itália. Em 2012, uma publicação reuniu os resultados bastante satisfatórios e promissores, com a redução do consumo de energia pelo uso da geotermia quando comparada aos sistemas convencionais para condicionamento do ar, comprovando sua eficiência em climas mais amenos.

Antes disso, na Espanha, a investigação do potencial geotérmico já havia se iniciado com a crise do petróleo de 1973. Mais tarde, o Programa GEOT-CASA, representou um marco do Plano de Energias Renováveis na Espanha para 2005-2010 que tinha como objetivo estender o uso da geotermia em edificações, financiando instalações geotérmicas em edifícios. Neste contexto, a estação Pacífico do Metrô de Madri (Figura 3) foi a primeira estação de metrô capaz de gerar sua própria energia para climatização com uso de geotermia. O sistema, em funcionamento desde 2009, permite uma

economia de 75% de energia, com redução de 50% de emissões de CO<sub>2</sub>. Para sua implementação, foram realizados estudos para determinar a viabilidade do terreno e suas características quanto à temperatura, condutividade térmica média e profundidade do nível freático. A partir daí foram introduzidos 32 tubos em forma de “U” de polietileno de alta densidade a 150 metros de profundidade, onde a temperatura do solo era de cerca de 15°C, e nos quais circulariam um gel capaz de garantir a manutenção da temperatura. (Observatório tecnológico de la energia, 2012)

**Figura 3 – Ilustração do sistema geotérmico na Estação de metrô Pacífico, em Madri, Espanha**



Fonte: <http://www.imrshale.com/blog/2012/04/04/energia-geotermica-para-alimentar-el-metro-de-madrid/> (acesso em 20/04/2014)

Além deste projeto pioneiro, o documento do *Observatório tecnológico de la energia* destaca o projeto de Colégio Público *Ciudad de Capadocia*, em Trillo (Guadalajara), que possui uma instalação geotérmica há mais de 100 metros de profundidade com objetivo de transferir a energia geotérmica aos radiadores do colégio mediante uma bomba de calor. A solução técnica adotada substituiu a caldeira a diesel utilizada anteriormente como fonte de energia e que continua conectada ao sistema de radiadores de edifício público, mas de forma adicional. O mesmo documento destaca a construção de um edifício em Mataró, Barcelona, dotado de sistema de geotermia para que as moradias tenham um sistema próprio de climatização. O imóvel ocupa uma área de 220 m<sup>2</sup>, foi um dos ganhadores do Prêmio de Eficiência Energética Isover 2011 e obteve uma classificação energética de nível A.

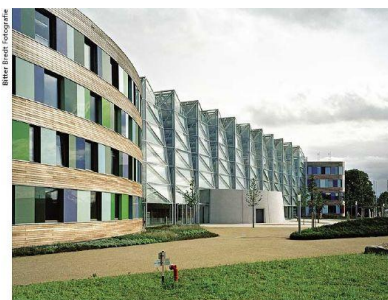
Em Portugal, em 2013, foi criada a Plataforma Portuguesa de Geotermia Superficial (PPGS), uma parceria interinstitucional com missão de desenvolver ações que permitam o progresso do aproveitamento da geotermia superficial, tanto a nível científico como aplicado, tendo como objetivos divulgar o tema, promover o diálogo na comunidade e auxiliar na elaboração de legislação.

A Alemanha se destaca como país grande utilizador da geotermia em seus edifícios. São inúmeros os exemplos de arquitetura com condicionamento per esta tecnologia. Como exemplos, há o Palácio do Reichstag em Berlim, de autoria de Foster + Partners e o prédio do Instituto Fraunhofer de Sistemas de Energia Solar, em Freiburg. Em 2007, a Agência Federal para o Meio Ambiente, em Dessau, projeto do escritório berlinense Sauerbruch Hutton, com o intuito de minimizar o impacto do edifício no ambiente, fez uso do trocador geotérmico de calor, constituído por um sistema subterrâneo de tubos

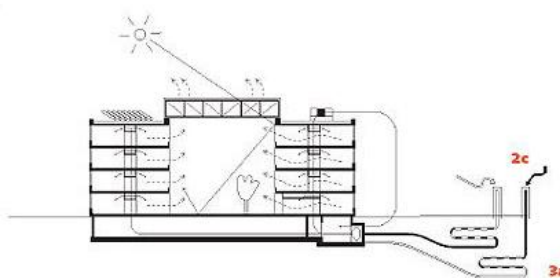


com mais de 5km de extensão, usando a temperatura do solo para pré-condicionar o ar a ser distribuído pelos ambientes da Agência. Esse meio serviu tanto para substituir sistemas tradicionais de refrigeração, produzindo 125 mil kWh/ano, como também para o aquecimento necessário nos meses de inverno, que consumia 86 mil kWh/ano, sendo a sua função de pré-aquecer os ambientes no inverno e pré-resfriá-los no verão (indicados pelos números 2c e 3a, na Figura 4 abaixo).

**Figura 4 – Agência Federal para o Meio Ambiente, em Dessau, Alemanha**

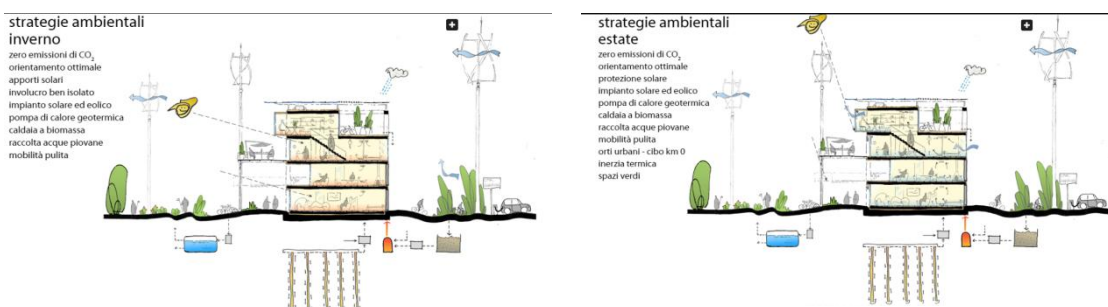


Fonte: Revista AU (2007)



Na Itália, em 2009, Mario Cucinella, projetou a Casa 100K €, em Turim (Figura 5), com zero emissão de CO<sub>2</sub> e baixo impacto ambiental. É um conjunto de 50 casas com 100m<sup>2</sup> cada, onde são utilizadas bombas geotérmicas como estratégia passiva, atuando no pré-condicionamento dos ambientes, tanto no inverno quanto no verão. O projeto integra outras estratégias para a redução do consumo energético e emissões, como sistema fotovoltaico, turbinas eólicas, reaproveitamento das águas pluviais e envoltórias bem isoladas. Estudos de ventilação natural e insolação também contribuem para a sustentabilidade do projeto. O projeto 100K € foi exposto na 11ª Exibição Internacional de arquitetura organizada pela Bienal de Veneza e ganhou o prêmio da *Architectural Review*, o *Awards Futures Projects 2009*, na categoria sustentabilidade.

**Figura 5 – Projeto Casa 100K €, em Turim, Itália**



Fonte: <http://www.mcarchitects.it/project/la-casa-100k> (acesso em 18/04/2014)

Na esfera acadêmica, destacam-se as pesquisas conduzidas pela Universidade de Roma “La Sapienza” que, com grande atenção a aspectos experimentais e práticos, usam em edifícios residenciais públicos de baixo custo, condutores enterrados combinados a outras estratégias bioclimáticas, de modo a favorecer condições de conforto térmico do organismo edificado (Battisti, Herzog e Tucci, 2012).

### 3.2 Ásia

O Tianjin Eco-City, na China, realizado em parceria entre os governos da China e Cingapura, pretende se tornar a cidade mais sustentável do mundo. Com conclusão prevista para 2020, o projeto adota uma infinidade de estratégias bioclimáticas e sustentáveis para redução do consumo energético e emissões. O projeto, construído sobre solo contaminado, terá uma extensão de 30 km<sup>2</sup> e, dentre as estratégias projetuais, serão usadas bombas de calor geotérmicas para condicionamento. Na Indonésia, em Jacarta, será construído o primeiro arranha-céu climatizado por geotermia e que pertence à companhia energética Pertamina, conforme ilustra a Figura 6.

**Figura 6 – Projeto do edifício da Companhia Pertamina, em Jacarta, Indonésia**



Fonte: <<http://geotermiaonline.com/primer-rascacielos-del-mundo-climatizado-por-geotermia/>> (acesso em 19/04/2014)

### 3.3 América do Norte

Os EUA, pioneiros na aplicação da tecnologia, possuem diversos exemplos, como o aeroporto de Portland e o Richard Stockton College, em New Jersey. No Canadá, se localiza o prédio Maison du Développement Durable (MDD), inaugurado em maio de 2012 (Figura 7), que utiliza o sistema de geração de energia por geotermia, com dutos que descem pelo solo a 150 m de profundidade. O prédio integra outras estratégias sustentáveis e concorre ao selo LEED Platinum de sustentabilidade.

**Figura 7 – Edifício Maison du Développement Durable, em Montral, Canadá**



Fonte: AU (2012)



### 3.4 América do Sul

O empreendimento Parque Titanium, em Santiago, Chile (construção 2012-2014), sob a responsabilidade do arquiteto chileno Abraham Senerman, e ilustrado na Figura 8, conta com a geotermia para climatização de seus ambientes. Sob a área dos três prédios que compõem o complexo, passa o Rio Mapocho, com águas à temperatura constante em torno dos 15°C, que são aproveitadas para a climatização dos edifícios. (AU, 2011)

**Figura 8 – Empreendimento Parque Titanium, em Santiago**



Fonte: AU (2011)

No Brasil, a tecnologia ainda é pouco explorada e merece maiores investigações. Hollumuller *et alli* (2006) realizaram estudos com tubos enterrados e com defasadores térmicos - sistemas que se aproveitam de amplitudes térmicas diárias, promovendo o deslocamento de pico de temperatura ao longo das horas, sem amortecimento, numa oportunidade de aproveitar o resfriamento noturno estocado na própria estrutura das edificações - e apontaram para o potencial de uso dos sistemas nas cidades de São Paulo, Porto Alegre, Brasília e Florianópolis.

## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização da geotermia superficial, de baixa entalpia, para uso direto para climatização de ambientes tem mostrado resultados positivos, colaborando para a manutenção das condições de conforto térmico com redução do consumo energético e das emissões de poluentes pelas edificações. Em muitos casos, são capazes de substituir por completo os sistemas até hoje considerados convencionais para condicionamento do ar. E, mesmo que não supram integralmente a demanda de condicionamento, podem ser usados compondo sistemas híbridos, reduzindo a dependência dos sistemas artificiais.

Os sistemas de tubos enterrados horizontalmente, por dispensarem perfurações a grandes profundidades, o que impacta diretamente nos custos do sistema, parecem merecer maior atenção dos pesquisadores e de parcerias interdisciplinares e interinstitucionais, para que sua aplicação seja viabilizada.

No Brasil, a tecnologia ainda não é suficientemente explorada. Para isso, deve-se avançar nas pesquisas e especialmente há que se promover uma esperada aproximação, tanto entre diversas entidades: universidades, empresas, consultores, etc., quanto entre as diversas áreas de conhecimento envolvidas: das engenharias, que detém o conhecimento sobre o funcionamento do sistema; da geologia, que por prospecção, pode obter dados sobre as características dos solos locais; da arquitetura, que deve prever a utilização do sistema em projetos e, para isso, disponibilizar área para as instalações.

Por fim, vale ressaltar a importância da utilização desta tecnologia não isoladamente, mas em conjunto com estratégias bioclimáticas e de eficiência no uso da energia, uma vez que a soma delas favorecerá o projeto de edifícios como organismos integrados em seu funcionamento.

## AGRADECIMENTOS

Ao professor André Avelar do Instituto de Geociências da UFRJ, por meio de comunicação pessoal em março de 2014.

## REFERÊNCIAS

BATTISTI A., HERZOG T., TUCCI F. **Sperimentazioni di housing sociale tra efficienza energetico-ambientale e basso costo**. *TECHNE* 04 2012.

CRUZ, R. J. L. V. **Utilização da Energia Térmica do Solo pra Climatização de edifícios**. 2013. 59f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro, Portugal.

CUCINELLA, M. **100K € Home – Research project for a low-cost residence**. Disponível em: <<http://www.mcarchitects.it/project/la-casa-100k>>. Acesso em 18/04/2014.

GEROLLA, G. Sustentabilidade para a viabilidade do futuro. **Revista AU**, ed. 164, Novembro, 2007.

GROUND-MED. **Advanced ground source heat pump systems for heating and cooling in Mediterranean climate**. Disponível em: <[http://www.groundmed.eu/fileadmin/red/Deliverables/Brochure/Groundmed\\_Brochure\\_final.pdf](http://www.groundmed.eu/fileadmin/red/Deliverables/Brochure/Groundmed_Brochure_final.pdf)>. Acesso em 19/04/2014

HOLLMULLER, P., CARLO, J., MIZGIER, M. O., WESTPHAL, F., LAMBERTS, R. **Potential of Buried Pipes Systems and Derived Techniques for Passive Cooling of Buildings in Brazilian Climates**. Centre universitaire d'étude des problèmes de l'énergie (CUEPE), Université de Genève – Switzerland, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LABEEE), Universidade Federal de Santa Catarina – Brazil; 2006.

MUSSKOPF, D. B. **Estudos exploratórios sobre ventilação natural por tubos enterrados**. 2006. 155f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul.

NETO, A. H., VOLTANI, E. R. **Resfriamento e aquecimento geotérmico**. Disponível em: <<http://www.engenhariaarquitectura.com.br/noticias/883/Resfriamento-e-aquecimento-geotermico.aspx>>. Acesso em 13/04/2014.

NOGUEIRA, J. W. L., PRALON, A. **Projeto pioneiro em Valência (Espanha) utiliza energia geotérmica para climatizar**. Disponível em: <<http://ofrioquevemdosol.blogspot.com.br/2011/08/luto-na-comunidade-cientifica-de.html#more>>. Acesso em 17/04/2014.

OBSERVATORIO TECNOLÓGICO DE LA ENERGIA. **Mapa Tecnológico: Calor y Frío Renovables**. Ministerio di Industria, Turismo y Comercio & Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energia, 2012. Disponível em: <[http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_Calor\\_y\\_Frío\\_Renovables\\_Geotermia\\_30012012\\_global\\_196afed7.pdf](http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_Calor_y_Frío_Renovables_Geotermia_30012012_global_196afed7.pdf)>. Acesso em 17/04/2014.