

**ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA:
UM ESTUDO APLICADO À PREVISÃO TECNOLÓGICA**

Nelson D. Yoshida

Mestrando do Programa da Pós-graduação em Administração

Universidade de São Paulo (USP), Brasil.

nelson.yoshida@usp.br

RESUMO

Os pesquisadores acadêmicos têm desenvolvido contribuições no campo dos estudos do futuro, e este conhecimento tem evoluído por meio da sua aplicação no ambiente de empresas e instituições públicas. Gestores de empresas e de instituições públicas são permanentemente colocados diante de desafios de decisão, e como tal têm necessidades de avaliação correta do contexto da decisão e dos possíveis resultados que se apresentam como consequências desta decisão. A tomada de decisão implica em avaliar incertezas e, no caso de contextos onde a decisão gira em torno de prospecção tecnológica, as incertezas aumentam. Nesta pesquisa, objetiva-se estudar a aplicação da ferramenta bibliométrica para prospecção tecnológica. A motivação é justificada pela existência de dois componentes importantes: (1) bases de dados eletrônicas via internet e (2) pesquisas mais recentes sobre a técnica bibliométrica, desenvolvidas justamente pela atual disponibilidade das bases de dados. O estudo é focado na tecnologia de climatização de ambientes via bombas de calor geotérmicas como objetivo da prospecção tecnológica.

Palavras-chave: Prospecção tecnológica. Tomada de decisões. Bibliometria. Análise bibliométrica.

BIBLIOMETRIC ANALYSIS:

A STUDY APPLIED TO TECHNOLOGICAL FORECASTING

ABSCTRACT

Academic researchers have contributed in the knowledge of future studies, and this knowledge has been improved through real application in companies and public institutions. Business executives and public administrators permanently have to face difficult decision processes, and therefore have to deal with decision context assessment and possible outcomes from the alternatives of decisions they have. Making a decision implies dealing with uncertainties, and cases when the decision focus is technology forecasting typically present uncertainties. The objective of this research is to study the application of bibliometric analysis on technological forecasting. This objective is based on the existence of two components that are available today, but not in the past: (1) internet based scientific databases and (2) new researches using bibliometric technique that explore the availability of these databases. The focus of this research is on heating, ventilation and air conditioning using geothermal heat pumps as the technology forecasting problem.

Key-words: Technology forecasting. Decision making. Bibliometrics. Bibliometric analysis.

1 INTRODUÇÃO

A prospecção tecnológica é um dos desafios corporativos e governamentais. A necessidade de se prospectar, avaliar e definir as rotas tecnológicas visa à melhoria do processo de tomada de decisões. O contexto em que se encontra uma organização ou mesmo um grupo com a responsabilidade de governar apresenta complexidade, e ela é, em grande parte, oriunda das incertezas inerentes à decisão. Reduzir as incertezas visa propiciar maior conhecimento sobre quais consequências podem advir de cada alternativa de decisão. Em muitos casos, é grande a chance da incerteza não ser totalmente reduzida, e assim mesmo a decisão precisa ser tomada. Tal situação se apresenta comum em casos que envolvem prospecção tecnológica, pois os ciclos de desenvolvimento são tipicamente de longo prazo.

1.1 OBJETIVO

O presente estudo tem como objetivo estudar a adequação da análise bibliométrica para prospecção de tecnologias em estágio inicial. Este foco se justifica pela natural relação entre o desafio existente na atividade de identificação das tecnologias emergentes e a decisão a ser tomada em relação aos investimentos em pesquisa e desenvolvimento (P&D). Trata-se de um estudo exploratório, baseado em pesquisa bibliográfica onde se buscam relatos e casos sobre a utilização do método escolhido para prospecção de tecnologias em estágio inicial.

A partir destes casos de aplicação, procura-se utilizar o método em uma abordagem singular para se aplicá-la em uma situação de prospecção. O método possibilita a análise do histórico de publicações ocorridas até o presente momento, e observando-se que a tecnologia esteja no seu estágio inicial de adoção comercial, pode se considerar que ela poderia ter sido rastreada antecipadamente por meio de um método de prospecção.

1.2 PROBLEMA DE PESQUISA

Os investimentos em pesquisa e desenvolvimento podem, ou não, gerar resultados positivos para empresas ou instituições públicas, portanto, existe risco inerente ao processo. Parte dos riscos é oriunda das incertezas sobre quais

tecnologias poderão ser adotadas no futuro. Dentre as formas de prospecção que tem obtido espaço recentemente, a bibliometria (ou análise bibliométrica) tem tido maior aplicação em relação ao passado. O problema de pesquisa aqui proposto é se o uso da bibliometria seria adequado para a prospecção da tecnologia escolhida para ser rastreada neste estudo.

1.3 JUSTIFICATIVA DA PESQUISA

No passado, o esforço para se empreender um método de rastreamento bibliométrico era elevado, uma vez que não havia disponibilidade de recursos computacionais e nem de bases de dados eletrônicas para se efetuar a busca de forma eficiente.

Hoje esta realidade está mudada, uma vez que são disponíveis bases de dados de publicações científicas via internet, e muitas delas oferecem recursos de busca que permitem obter resultados quantitativos suficientes para conduzir uma atividade de rastreamento bibliométrico. Coates et al (2001) argumentam que a bibliometria tende a crescer em uso, uma vez que essas facilidades ora disponíveis induzem à adoção do uso deste método.

A aplicação da bibliometria tem especial apelo no caso de prospecção de tecnologias emergentes, onde diferentes rotas de desenvolvimento e combinações destas rotas disputam espaço para serem adotadas no futuro. Atualmente o desafio maior é aproveitar eficazmente o que existe disponível por meio da rede, e a bibliometria, aliada às informações disponíveis na internet, pode ser uma interessante combinação para o processo.

Para efeito de definição, aplica-se o conceito de que bibliometria (ou análise bibliométrica) se refere à contagem de publicações ou citações encontradas nas bases de publicações científicas e acadêmicas (Coates et al, 2001).

O rastreamento do que está publicado nessas bases, quando orientado por meio de busca de palavras-chave, pode indicar sinais de propensão à evolução de uma determinada tecnologia. Este processo permitiria, dessa forma, avaliar prospectivamente os caminhos que a tecnologia tende a seguir e poderia reduzir o grau de incerteza em relação às decisões de investimentos que estejam sob análise.

1.4 LIMITAÇÕES, RESTRIÇÕES E CUIDADOS

Por ser um método que se baseia em rastreamento de termos em bases de dados, ele apresenta restrições ou cuidados que devem ser lembrados quando utilizado.

Um primeiro cuidado é a escolha das bases de dados. Sabe-se que nem todas as informações sobre P&D são disponíveis a partir de bases de patentes ou de publicações. Muitas nem são comunicadas devido a decisões sobre confidencialidade. Também relevante é a abrangência das bases sobre o tema em estudo, pois pode ser necessário combinar a pesquisa sobre diversas bases para obter maior completude de fontes. Contudo, cabe comentar que o conteúdo das bases SCOPUS e WoS (*Web of Sciences*) gera resultados muito similares, com correlação elevada (R^2 aproximado de 0,99) entre os resultados gerados pelas duas bases, conforme mostraram Archambault et al (2009).

Outra fonte de limitação é a identificação dos termos a serem rastreados. Inicialmente deve ser levantada a lista de todos os termos que possam ter alguma relação com a tecnologia estudada, sem necessariamente hierarquizar a relevância entre eles. Posteriormente é recomendado que seja levantada uma hierarquia, do tipo classes e subclasses, como descrito por Woon e Madnick (2009). Este passo possibilita a criação de árvores de relevância entre os termos, e assim se cria uma ordem de busca dos termos nas bases de dados, partindo da maior hierarquia para a menor.

Sempre importante comentar, é altamente recomendável que os termos sejam validados por especialistas da tecnologia estudada, sem contudo deixar-se influenciar por eventuais vieses que possam ser incluídos por especialistas. Deve ser lembrado que a bibliometria é uma metodologia que pode ser isenta de vieses, mas para tanto, é necessário implementar defesas contra elas, do contrário sua capacidade de agregar valor é reduzida. Neste presente estudo a tecnologia rastreada e seus termos de busca não foram validados por especialistas, apenas foram fundamentados pela bibliografia.

Uma terceira fonte de dificuldades é o idioma. Termos e palavras são intercambiados e muitas vezes eles se referem à mesma coisa. Para defender-se de problemas de significância dos termos, o pesquisador deve utilizar técnicas como o *stemming* – eliminação dos sufixos das palavras com uma origem

comum, e.g. plurais, flexões de verbos. A técnica ainda prevê a substituição dos termos derivados por um termo equivalente (Glenisson et al., 2005). Também podem ser utilizadas técnicas de semelhança e significância de palavras para identificar termos que se referem aos componentes da uma mesma tecnologia.

Outras fontes de problemas são apresentadas por Vidican, Woon e Madnick (2009) em seu estudo sobre as células fotovoltaicas:

- ✓ Falso positivo / falso negativo: Nem sempre os termos definidos para rastreamento representam aquilo que se imagina em todas as publicações.
- ✓ Falta de consistência na cobertura de bases de dados: Tanto pode ser oriunda da definição de quais fontes serão exploradas, quanto da própria escolha de quais bases serão rastreadas. Algumas escolhas podem definir vieses das bases eleitas para busca, e se o método não inclui vieses, nada garante que estes já não tenham sido inseridos em etapas anteriores.
- ✓ Falta de recursos de busca nas bases consultadas: Algumas bases dispõem de recursos de busca que permitem pesquisas com razoável flexibilidade. Contudo, nem todas as bases disponibilizam recursos além dos básicos.

Uma limitação típica da bibliometria é o tempo decorrido entre o efetivo estudo de P&D e a sua publicação. Muitas vezes este tempo pode ser grande o bastante para por em dúvida o pesquisador.

A metodologia de pesquisa adotada também contribui para gerar limitação sobre as conclusões do estudo. Pelo caráter exploratório do mesmo, não se busca confirmar hipóteses, mas sim avaliar a adequação do uso do método para o fim pretendido. Um estudo confirmatório pode ser proposto para pesquisas futuras.

Deve ser salientado também que nada garante o sucesso da tecnologia rastreada no presente estudo, uma vez que não se pretende avaliar a propensão ao seu sucesso comercial. Neste estudo objetiva-se focar na avaliação do método de prospecção, com ênfase em como o seu uso poderia indicar sinais de que a rota tecnológica percorrida poderia ser candidata à evolução até a disponibilidade comercial.

Estas limitações são características inerentes à pesquisa utilizando bibliometria. Cabe comentar que o contexto da pesquisa define grande parte dos cuidados que o pesquisador deve tomar, portanto as restrições podem ser outras que não as aqui comentadas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

Segundo definição já antecipada, a análise bibliométrica é uma metodologia de contagem sobre conteúdos bibliográficos, na sua essência. Portanto, o método não é baseado na análise de conteúdo das publicações, sendo o foco a quantidade de vezes em que os respectivos termos aparecem nas publicações ou a quantidade de publicações contendo os termos rastreados.

A técnica possibilita o auxílio no processo de tomada de decisões, pois permite explorar, organizar e analisar grandes massas de dados que, caso não sejam avaliadas com algum método mais estruturado, não gerariam resultados tão valiosos para a tomada de decisões (Daim et al., 2008).

A bibliometria pode ser utilizada para auxiliar outros métodos de prospecção, como o de cenários, que tem como objetivo estudar os possíveis contextos futuros. O método de cenários não busca encontrar um acerto sobre previsões do que virá a ser o futuro, mas principalmente agregar mais informações, melhorar as informações e assim compreender as decisões envolvidas para que elas sejam tomadas observando-se o que tenha sido prospectado para se atingir objetivos relacionados ao futuro (Wright & Spers, 2006).

A identificação do número de vezes em que termos são encontrados indicaria o nível de atividade de pesquisa sobre o tema (Vidican, Woon & Madnick, 2009; Porter, A., 2007).

Uma análise contendo o conteúdo integral das publicações pode resultar na quantidade de vezes em que os termos aparecem nos respectivos documentos. O que é realizado no presente estudo é a contagem de publicações que contém os termos, uma abordagem mais simplificada.

A análise bibliométrica procura por padrões ou explicações para comportamentos não estruturados (Daim et al; 2005). Segundo estes autores, as aplicações típicas são para rastreamento de tendências de pesquisas, identificação de áreas emergentes das ciências básicas ou para identificar a frequência em que determinadas publicações são citadas.

Uma análise bibliométrica rastreia: publicações, palavras, citações, referências citadas, co-citações, frases e autorias. Alan Porter (2007) enfatiza que além das contagens propriamente ditas, as conexões entre os temas rastreados, ou entre autores ou entre instituições, podem dar indicações sobre a evolução dos desenvolvimentos e inovações em estágios iniciais.

Tecnologias em estágio ainda inicial podem não evoluir e acabar sendo abandonadas. O desafio da prospecção é avaliar o grau em que isto pode ou não ocorrer. Tipicamente as tecnologias que se sobressaem apresentam uma curva em forma de S.

Em alguns estudos de prospecção os autores procuram comparar os resultados da metodologia utilizada para a prospecção com outros métodos. Isto pode aumentar a segurança no estudo em andamento, embora crie dificuldades adicionais, como maior tempo de estudo e maior ônus.

Daim et al. (2005), por exemplo, utilizaram o modelo de Fisher-Pry para avaliar as tecnologias de células de combustível e de segurança alimentar. Eles compararam os resultados do modelo de Fisher-Pry com uma curva de maturidade obtida por meio de uma pesquisa Delphi desenvolvida junto a especialistas.

A análise bibliométrica tem similaridades com a metodologia TRIZ de gestão de conhecimento para inovação (Zlotin & Zusman; 1999), desenvolvida e aprimorada por Genrich Altshuller. Este pesquisador utilizava o método para identificar possíveis tendências de inovação.

Como na bibliometria, o ponto de partida foi uma base de dados, no caso de patentes, que é classificada por tipos, níveis e padrões de inovação. O autor defendia que por meio da similaridade de casos e problemas em estudo, comparando-os a outros que já foram resolvidos e apresentaram determinado padrão de solução, poderia se estimar que a solução seria desenvolvida por mecanismos similares aos identificados nessas soluções anteriores.

Altshuller trabalhava mais na linha de análise de conteúdo, pois para se decidir por uma possível rota para a inovação em estudo, o seu método necessita de avaliação da natureza do problema. Na bibliometria não necessariamente se executa a análise de conteúdo, embora haja estudos onde se aplica o rastreamento sobre todo o conteúdo das publicações. Uma varredura mais ampla visa quantificar o número de ocorrências dos termos dentro dos textos, para eventualmente se calcular a distância semântica entre os mesmos.

A distância semântica entre os termos ou palavras pode ser medida por meio da frequência em que ocorrem em um grupo de artigos e publicações. Um dos indicadores que pode ser utilizado para calcular a distância semântica entre dois termos é a distância assimétrica, método que atualmente tem sido utilizado para estudos prospectivos utilizando os sites da internet. O Normalized Google Distance (NGD) é o indicador que ilustra bem isso, sendo que ele é calculado pela fórmula a seguir (Woon & Madnick, 2009):

$$\text{NGD}(t_1, t_2) = \frac{\max\{\log n_1, \log n_2\} - \log n_{1,2}}{\log N - \min\{\log n_1, \log n_2\}}$$

Onde: t_1 e t_2 são os termos rastreados, n_1 e n_2 são a quantidade de ocorrências de cada um dos termos individualmente, $n_{1,2}$ é a ocorrência dos termos em conjunto e finalmente N é o total de documentos pesquisados. Neste estudo não se pretende calcular o NGD, contudo, trata-se de um indicador de distância assimétrica. A distância assimétrica de um termo a outro ajuda a compor a hierarquia dos termos. No artigo de Woon e Madnick (2009) os autores mostram que o indicador NGD é direcional, ou seja, para dois termos escolhidos, a ordem em que são colocados na fórmula influi no resultado, e o menor resultado implica que o primeiro termo (t_1) é uma subclasse do segundo termo (t_2).

Um aspecto fundamental na bibliometria é a geração dos termos e palavras a serem rastreados e como estes componentes são tratados no desenvolvimento da pesquisa. Recomenda-se pesquisa bibliográfica com razoável dedicação para que os termos sejam definidos de forma a garantir abrangência sobre a tecnologia que se busca analisar. Eventuais lacunas podem ser prejudiciais ao estudo, uma vez que os termos podem ser combinados entre si

para formar taxonomias que, ao final, podem representar a própria rota tecnológica que será tomada no futuro. Ignorar algumas dessas combinações pode levar a decisões equivocadas.

Árvores taxonômicas podem ser geradas a partir de termos de alta hierarquia que contém outros termos (subclasses). Na literatura são citados alguns algoritmos para suportar a função de geração de taxonomias, como o de Prim, o de Edmond e o algoritmo genético (GA), citados por Woon e Madnick (2009), sendo os dois últimos descritos no referido artigo. Neste presente estudo não se utiliza nenhum gerador taxonômico, os termos são escolhidos pela consulta à literatura.

2.2 PROCESSOS DECISÓRIOS: ALGUNS ASPECTOS EM RELAÇÃO À ESTRATÉGIA TECNOLÓGICA

O estudo da teoria das decisões é vasto e envolve muitas abordagens. Não é foco deste presente estudo o aprofundamento sobre o tema. Contudo, há aspectos do processo decisório que podem influenciar o rastreamento e monitoramento de tecnologias emergentes, uma vez que esta última atividade é, por si, o resultado de um conjunto de decisões previamente tomadas.

James March (1978) argumentou que o ser humano tem uma racionalidade condicionada, ou limitada. Baseando-se nas contribuições que Herbert Simon desenvolveu a partir da década de 1950 sobre a racionalidade humana, March argumenta que há algumas "anomalias" de comportamento do processo decisório que influenciam a racionalidade. Por outro lado, o ser humano se adapta às situações e molda o seu comportamento. O autor defende ainda que este processo cria uma inteligência comportamental que pode favorecer o processo decisório. Estes ensinamentos são importantes para o processo de rastreamento por bibliometria, pois na fase de definição dos termos, ou pouco antes ou depois dela, pode ser realizada uma consulta a especialistas, e a interação entre estes especialistas e os pesquisadores tanto enriquece o processo quanto introduz problemas oriundos da racionalidade condicionada.

Alan Porter (2007) argumenta que os gestores tendem a basear suas decisões na intuição, em especial quando o tema envolve a gestão tecnológica. O uso da intuição nas decisões tem seu lado positivo. Khatri e Ng (2000) apontam

argumentos a seu favor. A intuição é rápida, não contém vieses e representa um modelo racional de pensamento, embora não se possa identificar como se processa este mecanismo. Este processo representa o que Said Elbanna (2006) chama de síntese intuitiva.

A conexão desse tema em relação à bibliometria é explicada, pois se a tecnologia rastreada é nova, pode-se aplicar uma lista completa de termos sem nenhuma hierarquia entre os mesmos. Esta abordagem, totalmente exploratória de início, serviria para levantar dados preliminares para subsidiar especialistas para uma primeira decisão sobre termos a serem rastreados. Existe, pois, uma decisão neste momento, e para aproveitar a experiência dos especialistas no uso de sua intuição, um resultado bibliométrico preliminar pode ser de muito valor.

A Teoria Perspectiva de Kahneman e Tversky (1979) contém argumentos que apontam o ser humano como mais avesso a riscos para ganhos do que para perdas. Tal tendência pode influir no processo de decisão que faz uso dos resultados de um rastreamento bibliométrico.

A escolha dos termos pode conter vieses oriundos dessa assimetria na aversão aos riscos. Gestores de empresas já estabelecidas podem menosprezar termos relacionados a rupturas tecnológicas, ao passo que gestores de empresas novas podem sobrevalorizar os mesmos termos. Parte desses problemas pode ser mitigada por meio do uso da bibliometria de forma equilibrada e precavida contra a parte indevida do comportamento humano diante de situações de decisão.

Almeida, Onisuc e Lesca (2007) argumentam que o uso da construção de sentido por meio da criatividade aplicada aos sinais fracos contribui para a inovação e para o modelo mental. Uma combinação entre rastreamento de sinais fracos por bibliometria pode contribuir para a tomada de decisões.

Day e Schoemaker (2000) indicam haver problemas na identificação de ameaças tecnológicas para empresas já estabelecidas. Segundo esses autores, são quatro problemas potenciais que empresas incumbentes estão sujeitas na questão tecnológica:

- ✓ entrada tardia na pesquisa da nova tecnologia,
- ✓ atenção com viés para o que é familiar
- ✓ relutância em se comprometer de fato e (4) falta de persistência.

Em qualquer um dos problemas mencionados acima, há decisões envolvidas. O conhecimento da natureza destas dificuldades na tomada de decisão contribui para que a bibliometria seja aplicada com zelo suficiente para efetivamente agregar valor ao processo decisório.

2.3 CLIMATIZAÇÃO POR BOMBAS DE CALOR SUBTERRÂNEAS

A tecnologia escolhida para ser rastreada via bibliometria é a de climatização de ambientes por bombas de calor subterrâneas. Trata-se de um sistema de ar condicionado não convencional, que utiliza uma bomba de calor enterrada no subsolo para expulsar ou absorver o calor. Um sistema convencional de ar condicionado faz esta troca de calor com o ar externo ou com água gelada.

Na tecnologia rastreada neste estudo, o calor é extraído do ambiente e enviado para a terra por meio de tubos subterrâneos que transportam o líquido refrigerante ou a água para o subsolo, onde se dá a troca de calor. Quando o ciclo é de aquecimento, o calor é absorvido do subsolo e transportado pelo refrigerante ou pela água para a superfície. Um compressor é utilizado para os ciclos de compressão e um evaporador é aplicado para efetuar a troca com o ar ambiente. O solo é a fonte de energia para a troca de calor, pois apresenta propriedades geotérmicas particulares (Hughes et al, 2008).

Importante salientar aqui que o termo "geotérmico" tem significado amplo e pode ser aplicável a diversos contextos. O mais comum de todos, é a associação do termo como sendo uma fonte de calor subterrânea, oriunda de atividade vulcânica. Outro significado atribuído é relacionado às propriedades térmicas do subsolo.

O subsolo apresenta temperatura constante a partir de certa profundidade. Em estudo desenvolvido por Swenka (2008) no estado norte-americano de Iowa, foi identificado que a temperatura do subsolo girava em torno de 52°F (11,1°C).

Além disso, o padrão de temperatura do subsolo converge para um valor médio à medida em que se aumenta a profundidade, e a partir de 28 pés (8,5m) a variação é mínima (Swenka, 2008; <http://www.geo4va.vt.edu/A1/A1.htm> - Universidade de Virginia). Na Fig. 1 é mostrado o perfil de temperatura em função da profundidade.

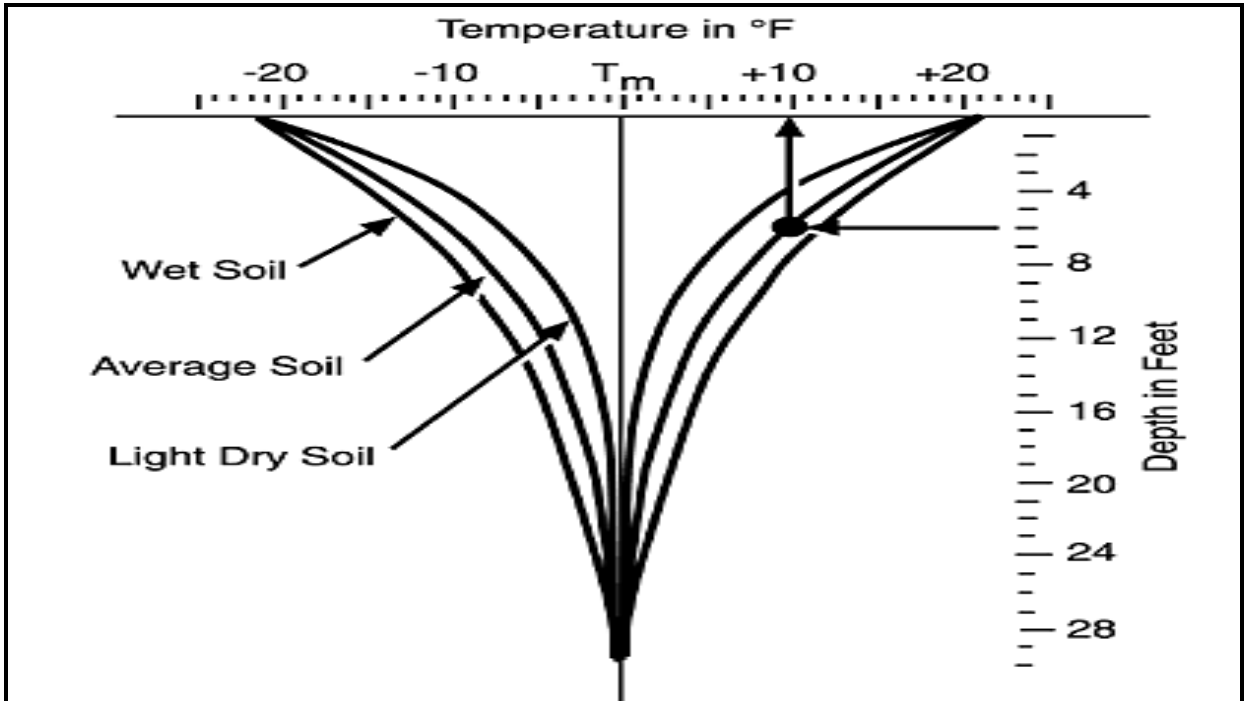


Figura 1: Perfil de temperatura em função da profundidade

Fonte: <http://www.geo4va.vt.edu/A1/A1.htm>

Na Fig. 2 é mostrada a curva de variação de temperatura ao longo do ano e para diversas profundidades. As medidas foram realizadas no hemisfério norte, portanto o verão se dá nos meses de julho, agosto e setembro.

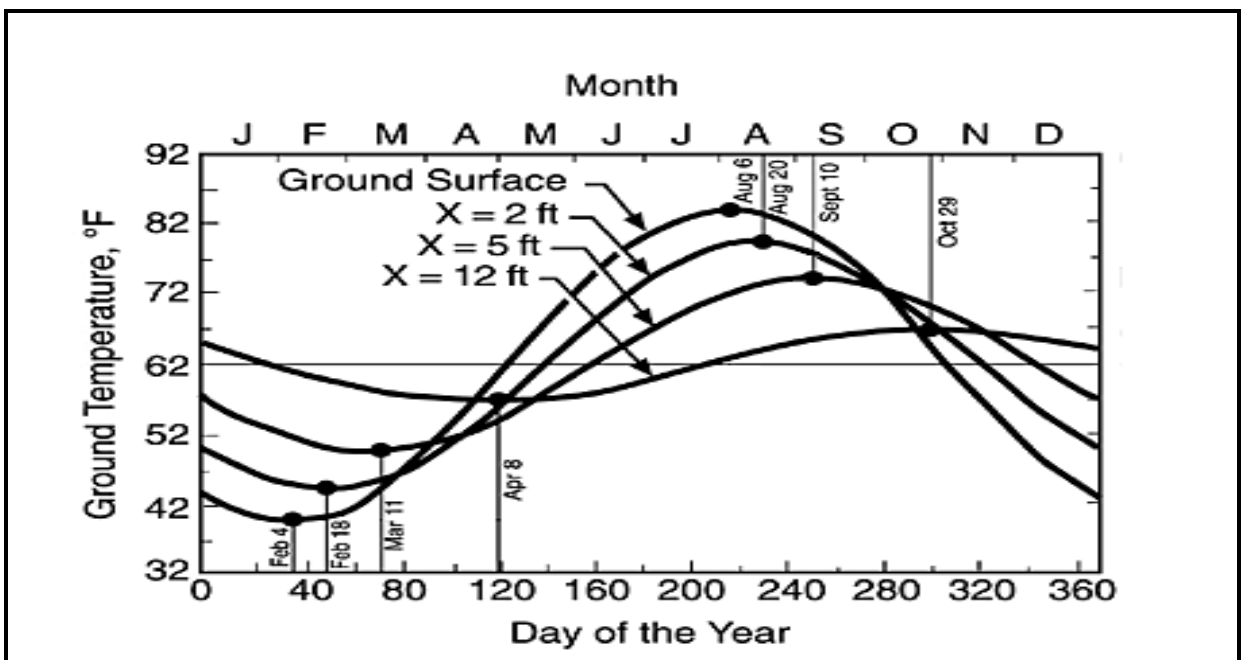


Figura 2: Curva de variação de temperatura

Fonte: <http://www.geo4va.vt.edu/A1/A1.htm>

Observando os gráficos das figuras 1 e 2, nota-se que a temperatura do subsolo varia muito pouco a partir de certa profundidade, independentemente da temperatura na superfície. Esta propriedade do subsolo permite o uso de uma bomba de calor para trocar calor com a terra. Esta é a diferença entre o sistema convencional de climatização e um sistema geotérmico. Como a troca de calor é feita no subsolo, o compressor na superfície não precisa utilizar energia elétrica para refugar calor com o ar externo ou com água refrigerada (tipicamente gerada por outro equipamento elétrico). Dessa forma, existe uma economia natural de consumo de energia. Neste presente estudo não se busca avaliar a característica de economia de energia como um fim em si, mas a natureza da eficiência energética é um dos termos buscados nas publicações. Outros aspectos inerentes à tecnologia são descritos a seguir.

Como a troca de calor se dá com o subsolo, então se pressupõe que haja uma perfuração no solo. Esta perfuração pode ser vertical, horizontal ou mesmo em diagonal. A troca de calor é realizada por uma bomba de calor, portanto este termo é um componente da pesquisa. A terra é frequentemente referida pelos pesquisadores como uma fonte de energia, o que agrega os termos energia e bomba de calor à lista de palavras-chaves.

Fonte subterrânea ou fonte aquática também são termos a pesquisar, uma vez que não é necessário que a bomba de calor seja enterrada para o sistema funcionar – basta ela estar submersa em água para obter os mesmos efeitos de troca de calor. A lista de termos, expressões, frases e palavras-chaves a seguir são o ponto de partida para se montar uma taxonomia preliminar. Os termos são em inglês, pois é o idioma em que se encontram as publicações catalogadas na base SCOPUS. Palavras utilizadas por tecnologias associadas ou classes de tecnologias derivadas foram eventualmente rastreadas, mas com foco em validar a relevância dos termos de maior hierarquia. Os termos são:

Energy, ground, water, efficiency, geothermal, HVAC (heating, ventilating, air-conditioning), source, ground source, ground water, GSHP (Ground Source Heat Pump), GHP (Geothermal Heat Pump), air conditioning, heat, heating, cooling, heat pump, loop, exchanger, heat exchanger, seasonal, coupled, borehole, vertical borehole, grout, u-tube, carbon, climate, climate change, carbon dioxide, CO₂. Outros termos foram considerados no presente estudo, mas não se mostraram efetivos em relação à tecnologia rastreada. Alguns termos, como GHP (*geothermal heat pump*), são utilizados nos dias

atuais, mas para o período inicial de estudo desta pesquisa, a partir de 1991 até 2008, não seria recomendável adotar o termo como uma raiz de taxonomia. Por outro lado, "bomba de calor" (*heat pump*) é um termo que era de amplo uso até mesmo antes de 1991.

GHP é uma tecnologia em estágio inicial de adoção. O estudo de Swenka (2008), realizado nos Estados Unidos, indicou que algumas pessoas apresentam interesse em instalar o sistema em suas residências, no entanto não tem idéia clara do que seja a tecnologia.

Grande parte das pesquisas relacionadas à tecnologia associa a geotermia com a geração de energia elétrica por meio do uso de calor proveniente de fontes termais, de natureza vulcânica. Tal constatação direcionou o presente estudo a considerar o termo "geothermal" como de baixa hierarquia (não sendo uma raiz). Adotou-se o termo como sendo uma subclasse de termos como "energy", "efficiency" ou "heat pump" para tentar encontrar os resultados que convergissem com o uso do subsolo como trocador de calor para climatização, e não como fonte de calor para vaporização de água e movimentação de turbinas. Não se procura analisar se as duas formas de uso da energia geotérmica apresentam alguma relação entre si.

Cabe ressaltar que a climatização de ambientes responde por parte razoável de consumo de energia elétrica. O Programa Brasileiro de Etiquetagem de edifícios (PBE) adota peso de 40% para o sistema de condicionamento de ar (CA) na classificação do nível de eficiência da edificação, sendo que o sistema de iluminação tem peso 30% e a envoltória da edificação com os outros 30% (Cruz, 2008).

O atual estágio da tecnologia é de disponibilidade comercial em poucos países, mas pode se considerar que a tecnologia está apta para compor produtos comerciais. Contudo, deve ser lembrado o que Watts e Porter (1997) enfatizaram em seu estudo. Estes autores argumentam que o sucesso comercial do uso de uma tecnologia depende de inúmeros fatores que não são tecnológicos, sendo mercadológicos, socioeconômicos institucionais ou regulatórios.

Como já comentado anteriormente, não se pretende avaliar a propensão ao sucesso comercial da tecnologia aqui rastreada. Além desta delimitação, é importante ressaltar que o que se busca é avaliar se a análise bibliométrica seria adequada para monitorar o futuro da tecnologia em estudo, apenas isso.

3 METODOLOGIA

A pesquisa exploratória é usada para a descoberta através da liberdade de exploração das idéias e intuições sobre o fenômeno estudado (Gil, 1987). Ela não tem uma definição clara de limites e dá maior liberdade ao pesquisador, pois busca entender por que e como as coisas acontecem (Castro, 2006). Neste estudo são realizadas duas pesquisas bibliográficas. A primeira é realizada sobre a literatura acadêmica sobre aplicações de análise bibliométrica, e inclui também considerações sobre a teoria das decisões para orientar a pesquisa e o uso da metodologia bibliométrica. A segunda rastreia a literatura acadêmica para identificar as quantidades de publicações contendo as palavras-chave relacionadas à tecnologia rastreada neste estudo.

Alguns aspectos da teoria das decisões são incluídos no presente estudo para servir de orientação para o uso da metodologia bibliométrica. Esta, por ser um meio para suportar a tomada de decisões, deve ser utilizada de maneira que reduza as dificuldades do processo.

A tecnologia de climatização de ambientes (aquecimento ou resfriamento) por meio de bombas de calor subterrâneas faz parte de um grupo de tecnologias de energia renovável, e esta área tende a apresentar um elevado número de tecnologias emergentes que poderão estar disponíveis no futuro. Contudo, ainda não são muitos os estudos que utilizam a bibliometria como metodologia de prospecção na área de energia renovável (Vidican, Woon e Madnick; 2009).

São basicamente três os passos adotados no presente estudo, sendo baseados no que propuseram Ziegler et al (2005):

- ✓ Levantamento bibliográfico de termos e palavras relacionadas com a tecnologia estudada;
- ✓ Identificação da quantidade de publicações acadêmicas e científicas contendo os termos e palavras relacionadas;
- ✓ Análise de resultados sobre o crescimento na quantidade de publicações contendo os termos e palavras, identificando as relações de maior crescimento.

A pesquisa dos termos relacionados à tecnologia é realizada sobre a base de publicações SCOPUS. Esta base é escolhida por ser multidisciplinar, contendo publicações desde as ciências básicas, passando por engenharias e chegando à administração e ciências sociais, e foi considerada uma boa fonte para estudo piloto sobre energia renovável realizado por Woon, Henschel e Madnick (2009). Palavras e termos são combinados para serem rastreados na base. Esta técnica segue aproximadamente a prática adotada por Kostoff et al (2001), onde os autores realizaram estudo sobre energia renovável por meio do uso integrado de bibliometria com mineração de termos (palavras).

Neste presente estudo é realizada uma busca na quantidade de publicações contendo os termos ou palavras-chaves relacionadas à tecnologia em análise. Não é realizada busca da quantidade de ocorrências dentro de uma mesma publicação, e os recursos de busca utilizados são aqueles disponíveis no próprio site da SCOPUS. O levantamento de dados é realizado longitudinalmente (1991 a 2008), visando avaliar a quantidade de publicações contendo os termos neste período.

Pode-se considerar o estudo como um piloto para futuras evoluções. Há metodologias que podem contribuir para a pesquisa, como análise das distâncias semânticas entre os termos e palavras (Woon, Henschel e Madnick; 2009). Tal metodologia presume necessidade de avaliar o conteúdo integral dos textos publicados, o que requereria muita capacidade de armazenamento e processamento de dados. Contudo, cumpre apontar que uma análise sobre tecnologias emergentes demandaria incluir tais metodologias, portanto o presente estudo recomenda pesquisas futuras para complementar e evoluir o trabalho aqui desenvolvido.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE DADOS

Partindo-se dos termos levantados na bibliografia sobre a tecnologia em estudo, procurou-se identificar preliminarmente a quantidade de publicações contendo os termos. A primeira abordagem para o rastreamento partiu do termo "heat" uma vez que o componente fundamental da tecnologia em busca é a troca de calor. A partir deste termo, vai se aprofundando na hierarquia para buscar os termos associados, ou subclasses. Na figura 3, a seguir, é mostrada a primeira

estrutura rastreada. A taxa de crescimento ano a ano (% a.a.) é apresentada nos gráficos. Também é apresentada a taxa de crescimento médio composto (CAGR acum.) – observar que o eixo vertical das taxas de crescimento é o eixo da direita nos gráficos.

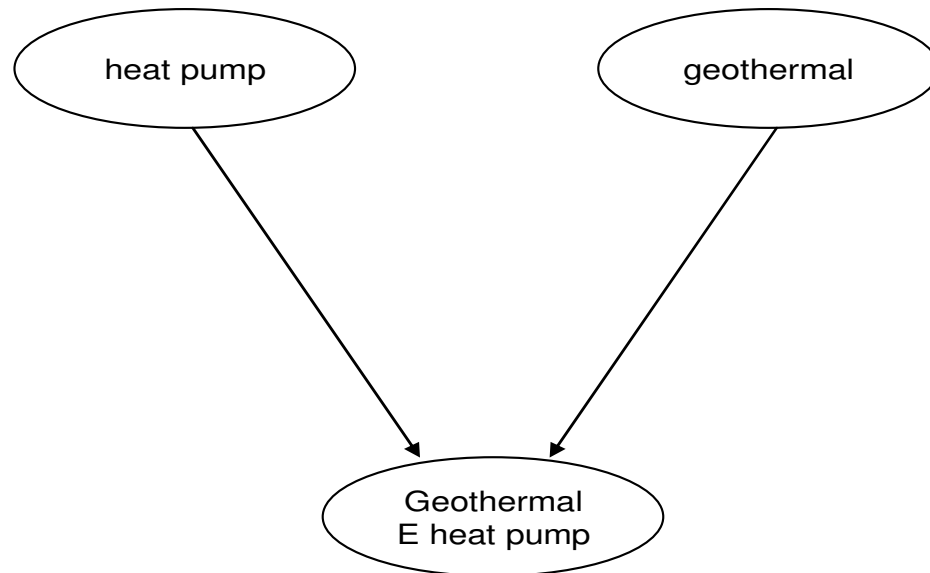


Figura 3

Fonte: Dados da pesquisa

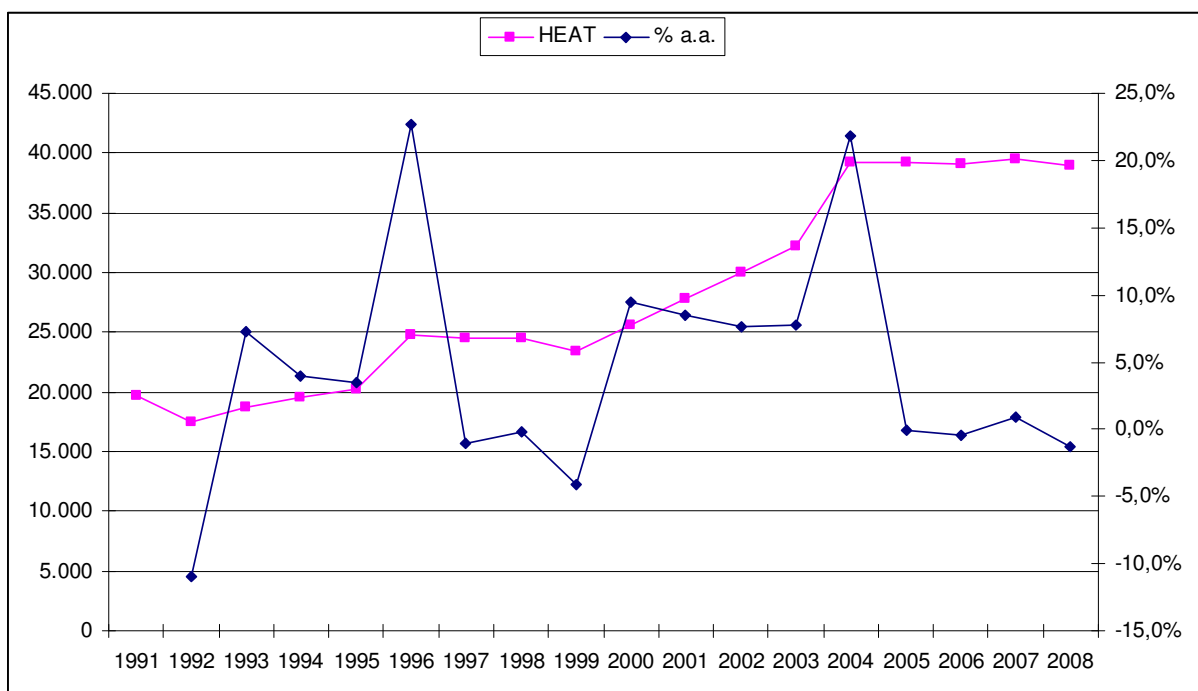


Gráfico 1

Fonte: Dados da pesquisa

O crescimento de publicações com o termo "heat" não significa muita coisa. Observando o comportamento do termo "geothermal", tem-se (gráfico 2):

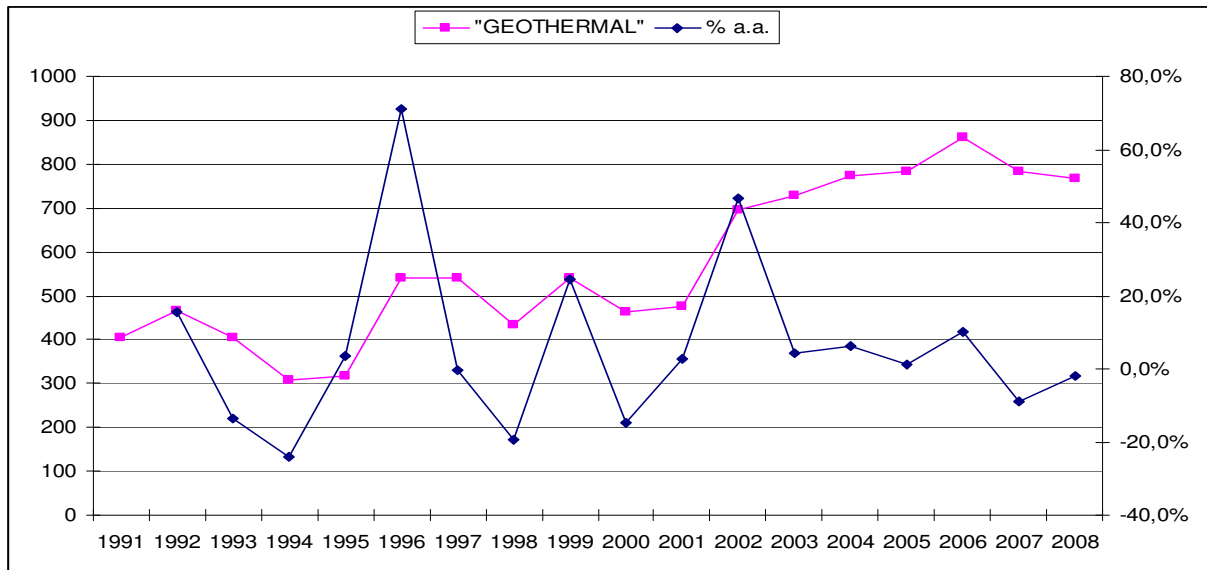


Gráfico 2

Fonte: Dados da pesquisa

Como dito antes, o termo "geothermal" não é considerado uma raiz taxonômica neste estudo, pois ele apresenta significados mais abrangentes. Por outro lado, cabe registrar que a taxa média de crescimento das publicações com o termo varia muito nos primeiros quatro anos do período estudado, e após isso se estabiliza próximo de 4,5%, conforme gráfico 3.

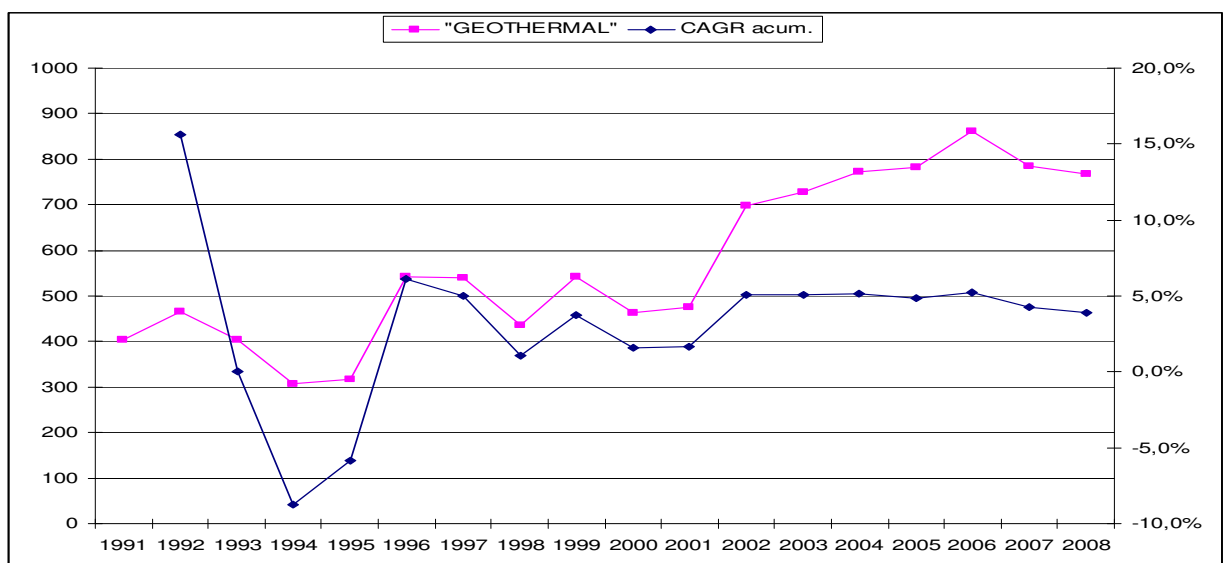


Gráfico 3

Fonte: Dados da pesquisa

O fato relevante ocorre quando se combina na busca os termos "geothermal" e "heat pump", conforme gráficos 4 e 5.

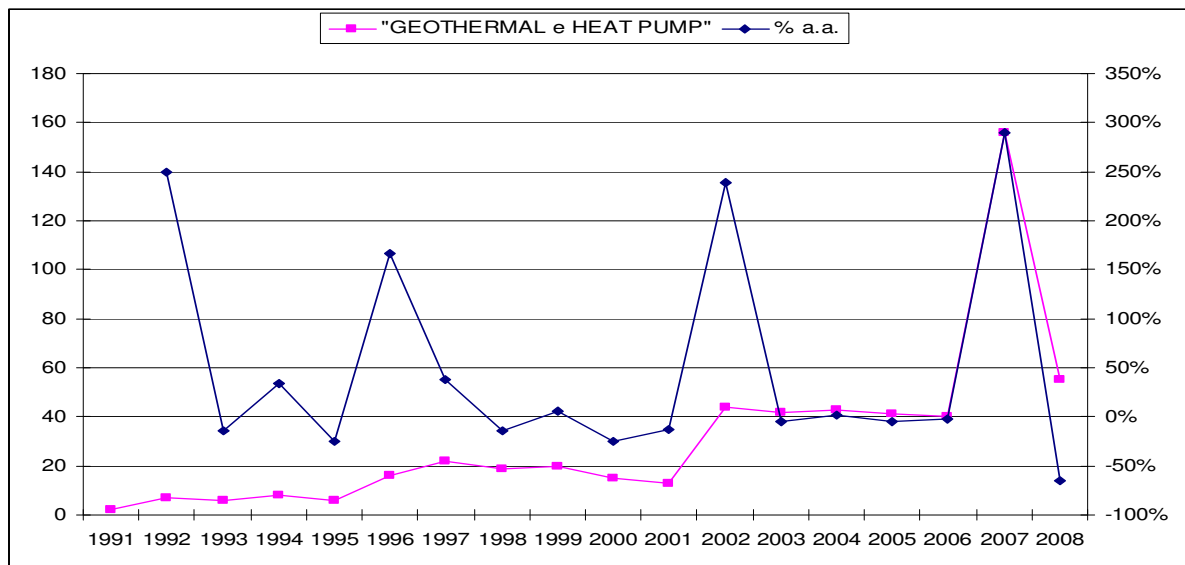


Gráfico 4

Fonte: Dados da pesquisa

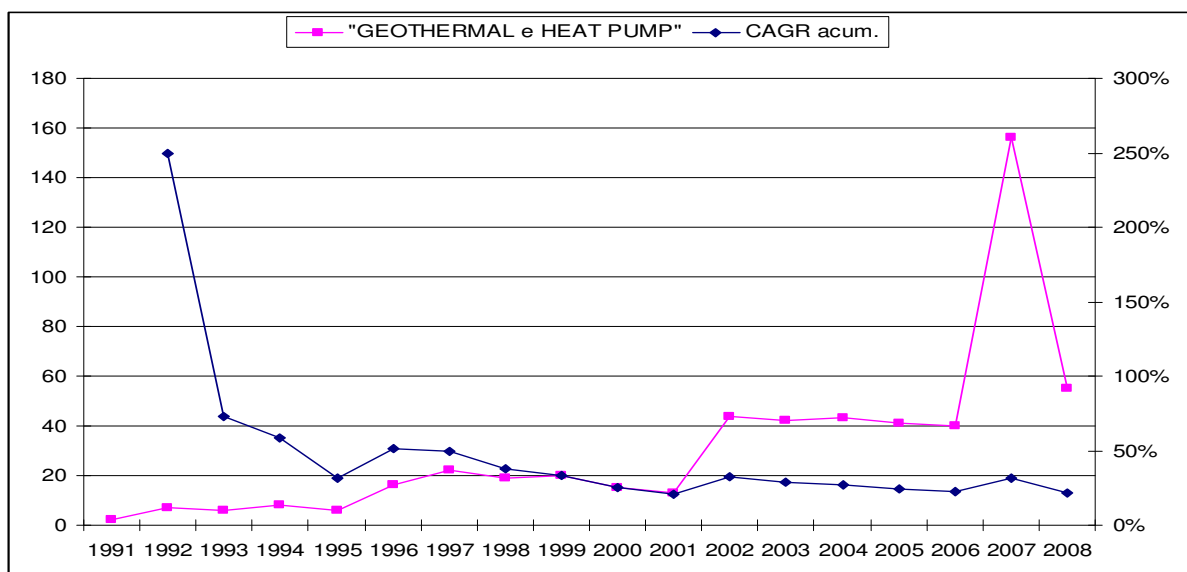


Gráfico 5

Fonte: Dados da pesquisa

O ponto a ser destacado aqui é que a taxa média de crescimento na quantidade de publicações com ambos os termos já é muito elevada desde o primeiro ano de observação, e se mantém em patamares acima de cinco vezes maior do que cada um dos termos isoladamente, conforme mostra o gráfico 5.

Este fato, se identificado por um processo de monitoramento estruturado, poderia indicar que uma possível rota tecnológica seria a da bomba de calor geotérmica.

Se a combinação de bomba de calor geotérmica estava forte, então seria interessante avaliar por outro caminho para tentar maior segurança na prospecção. Por exemplo, os pesquisadores poderiam pensar em avaliar se bomba de calor (heat pump) apareceria com energia (energy), pois neste caso a pesquisa estaria associando ambos os termos. Também, seguindo esta árvore, poderiam ser associados os termos "water" e "ground", pois eles seriam indicadores de bomba de calor submersa.

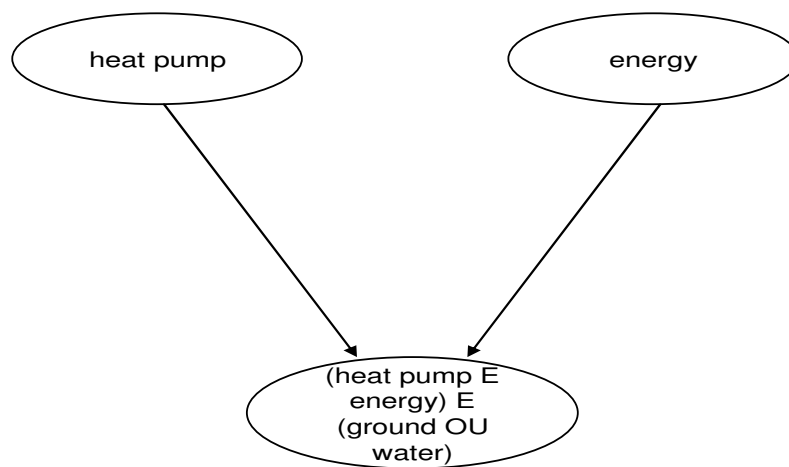


Figura 4

Fonte: Dados da pesquisa

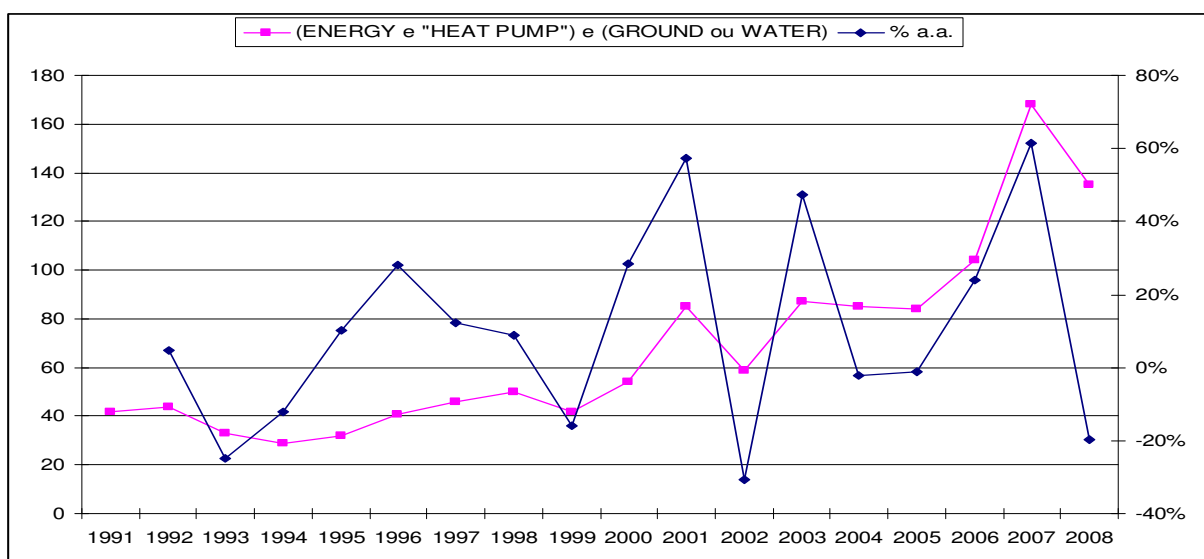


Gráfico 6

Fonte: Dados da pesquisa

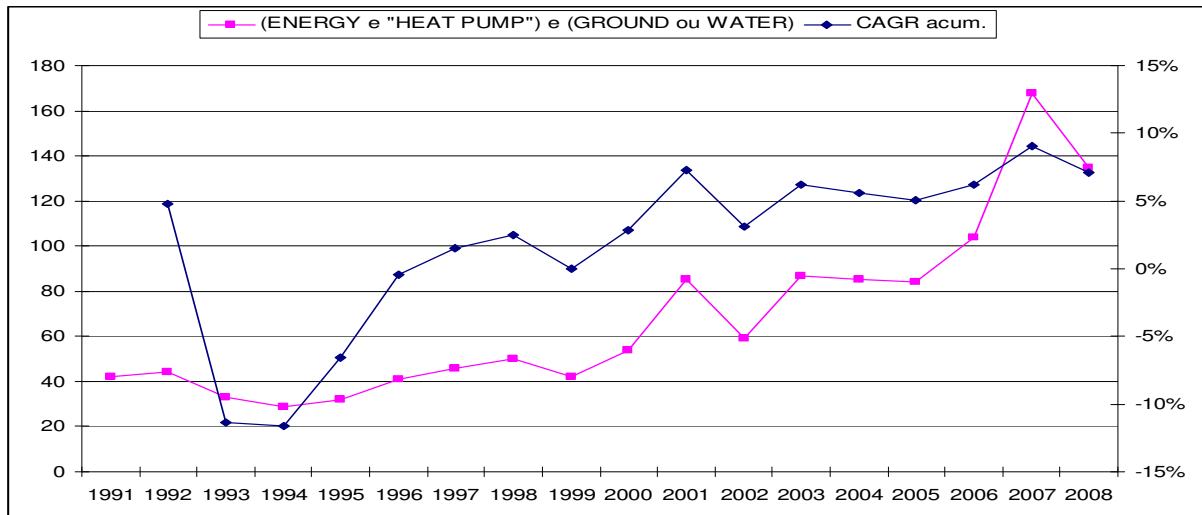


Gráfico 7

Fonte: Dados da pesquisa Gráfico 6

Observando os gráficos 6 e 7 nota-se que a combinação de "energy" e "heat pump" com ("ground" ou "water") foi errática nos primeiro três anos do período estudado, mas depois se consolida com crescimento médio composto positivo. No entanto, esta combinação poderia estar relacionada aos estudos sobre geração de energia elétrica por bomba de calor. Portanto seria necessário combinar outros termos de classes menores para delimitar a pesquisa. No caso, foram agregados os termos "HVAC", "air conditioning", "heating", "cooling" e "ventilating", todos com o conector OU entre si, porém este conjunto foi conectado por E ao conjunto inicial. O resultado é mostrado nos gráficos 8 e 9. A figura 5 mostra a árvore de termos.

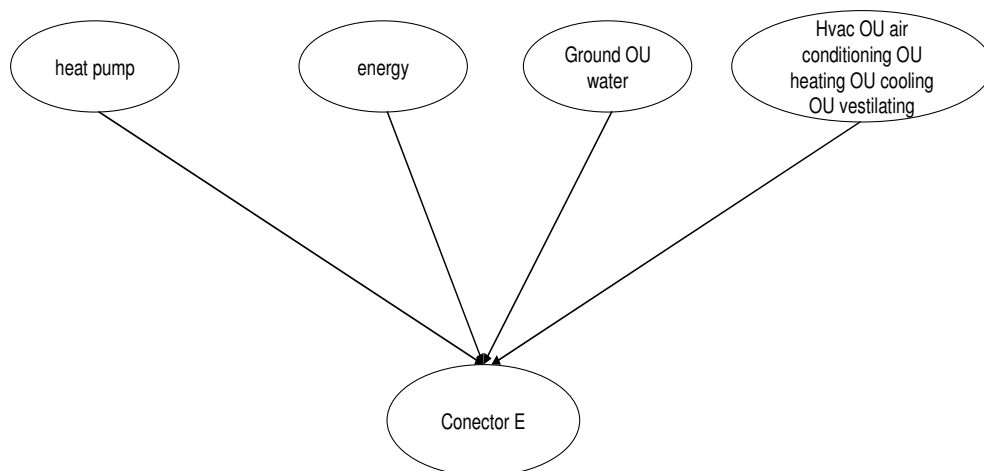


Figura 5

Fonte: Dados da pesquisa Gráfico 6

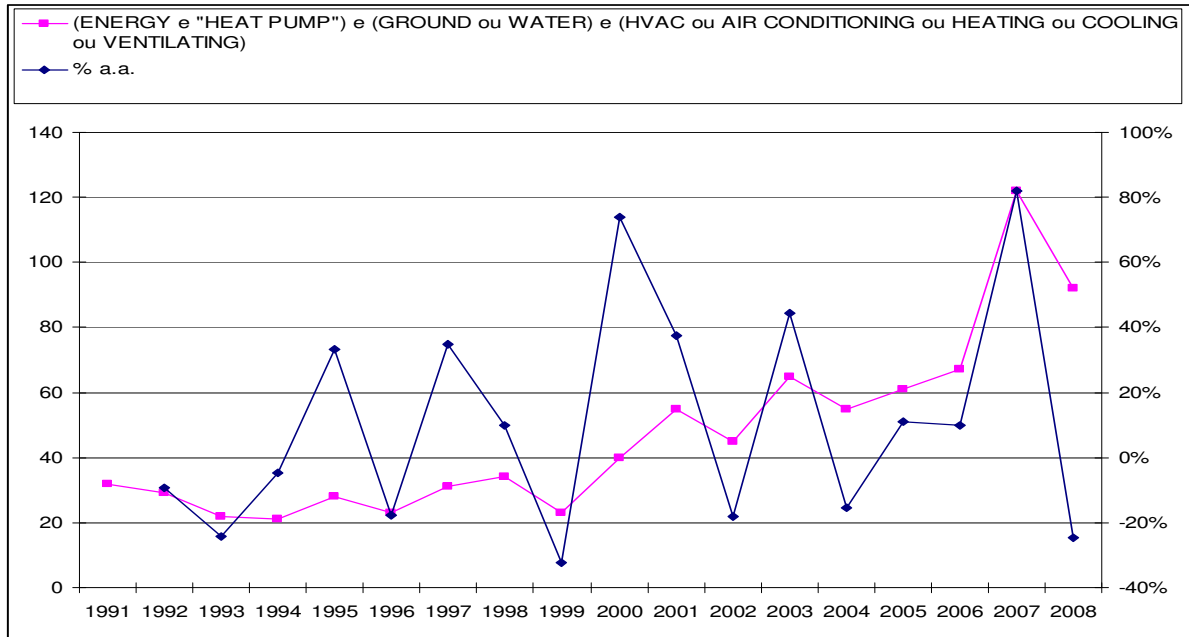


Gráfico 8

Fonte: Dados da pesquisa

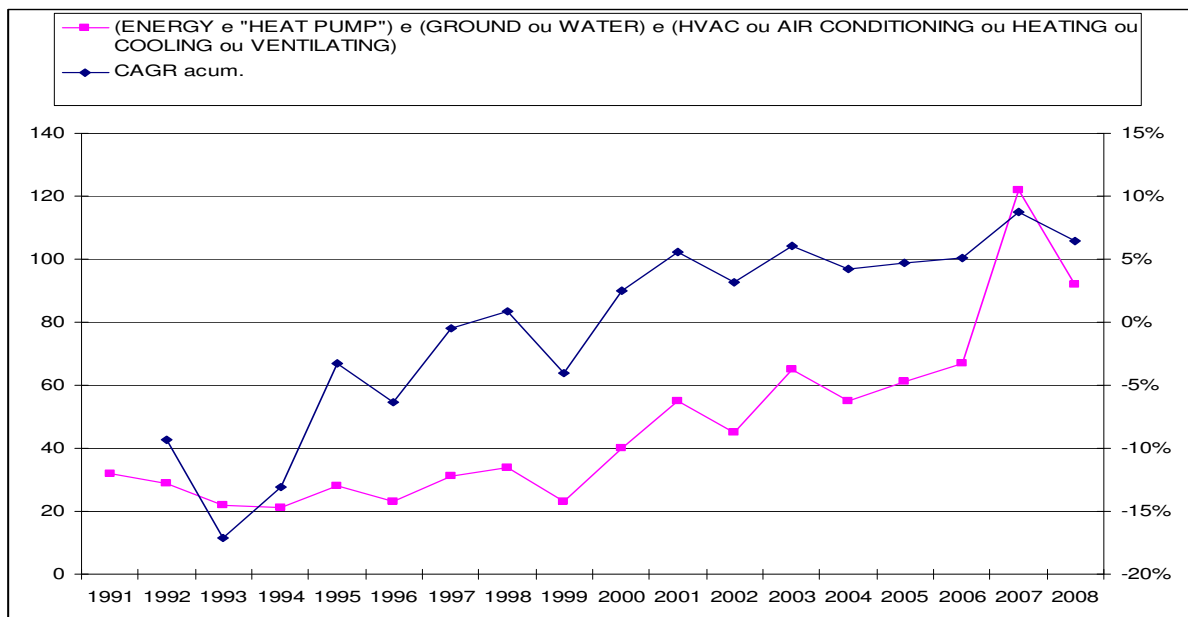


Gráfico 9

Fonte: Dados da pesquisa

Um olhar sobre os resultados dos gráficos 8 e 9 não apontaria que a associação rastreada contivesse algo significativo nos primeiros cinco anos, contudo seria notado um viés de alta no crescimento médio da quantidade de publicações, o que poderia ser um indicativo que o cenário de desenvolvimento

poderia ser plausível nos próximos anos. A partir do ano 2002 o crescimento composto anual é de aproximadamente 6%. Ao se estender a atenção agregando o termo "geothermal" na árvore obteve-se o seguinte resultado mostrado nos gráficos 10 e 11.

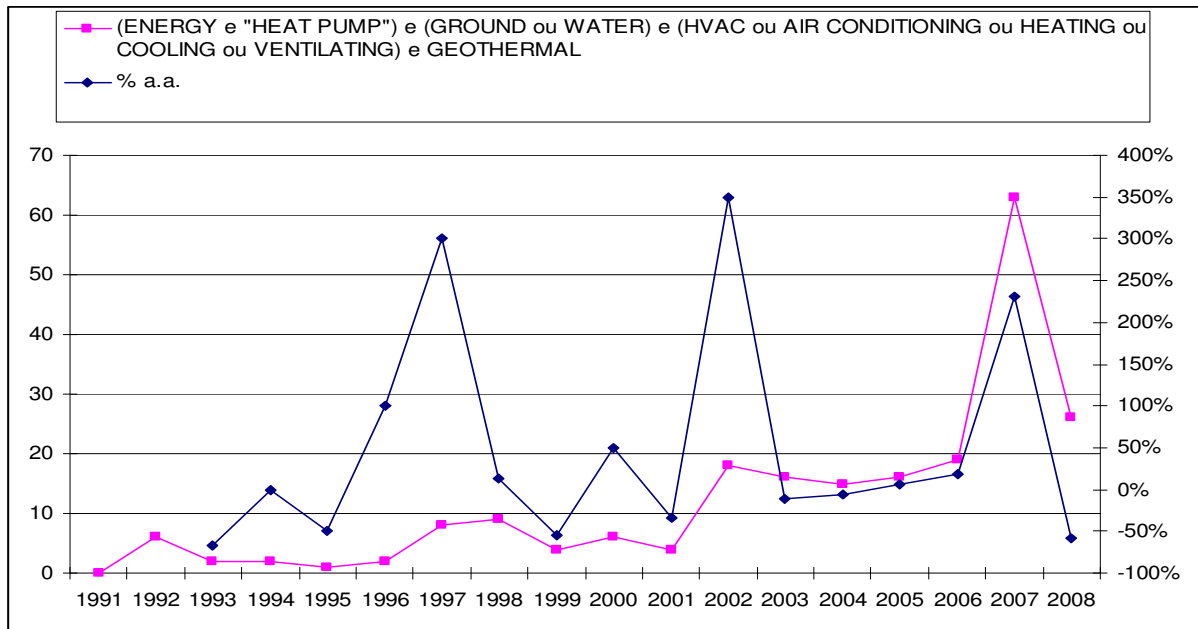


Gráfico 10

Fonte: Dados da pesquisa

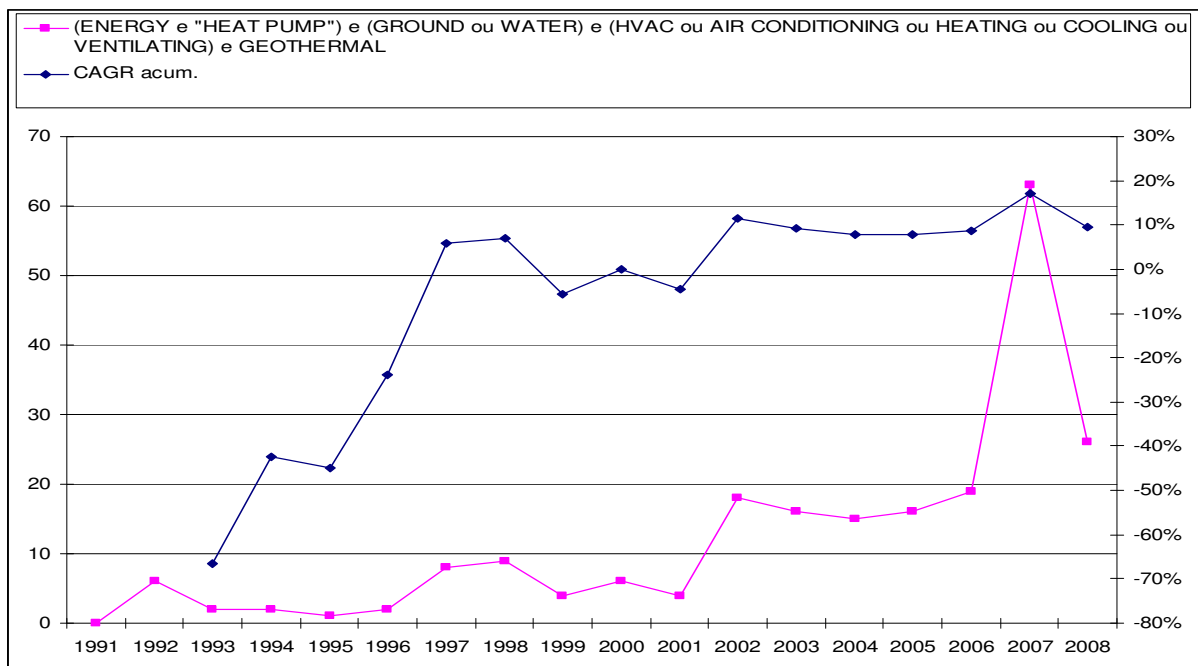


Gráfico 11

Fonte: Dados da pesquisa

Observa-se que neste contexto onde o termo "geothermal" é associado aos demais, a taxa de crescimento médio anual de publicações aumenta aproximadamente 50% para o período em que se considerou relevante o crescimento de publicações, ou seja, a partir de 2002. Avaliando-se que os analistas estariam raciocinando prospectivamente, é provável que o movimento de publicações já prendesse sua atenção a partir do ano de 2002. Explorando um pouco mais, poderia se pensar em avaliar como se desenvolve a pesquisa sobre as propriedades termodinâmicas do solo, em especial os aspectos relacionados com a temperatura, o solo e a profundidade. O que se obtém desta árvore (Fig 6) é mostrado nos gráficos 12 e 13.

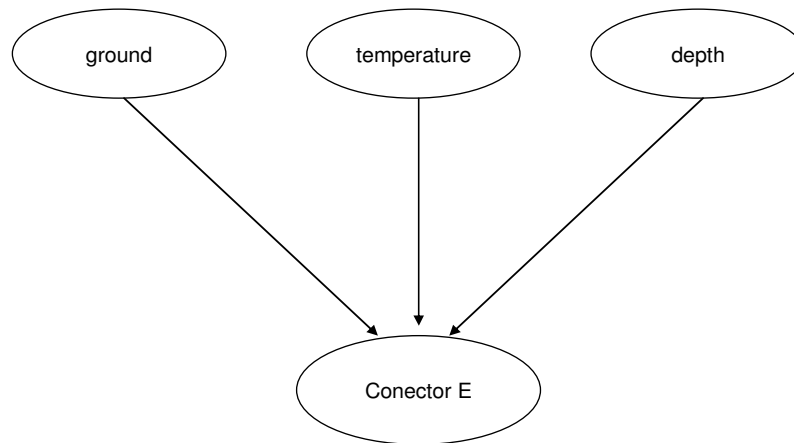


Figura 6

Fonte: Dados da pesquisa

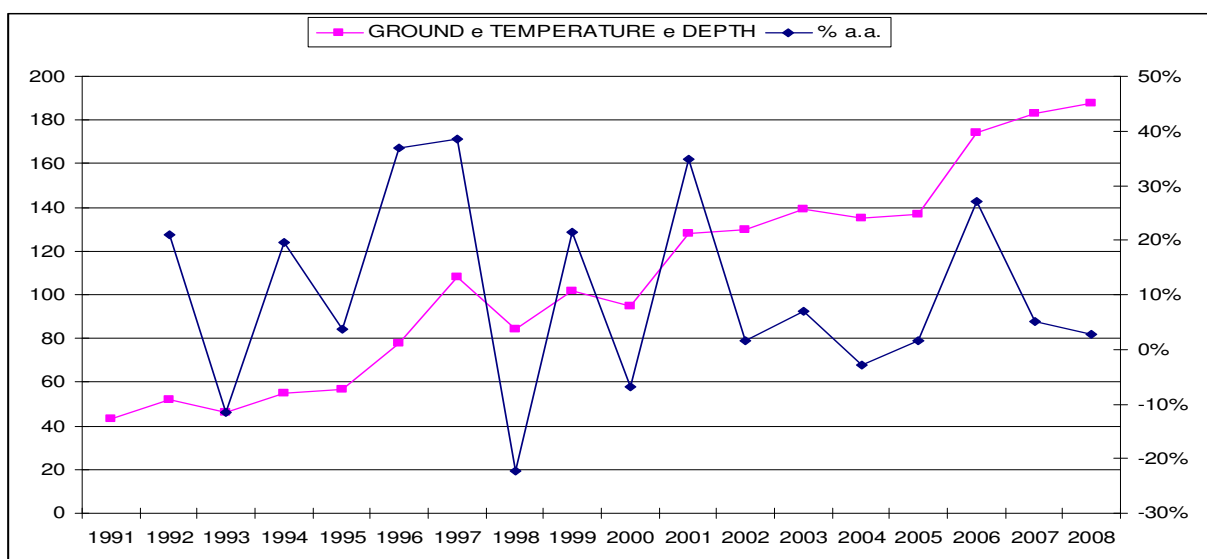
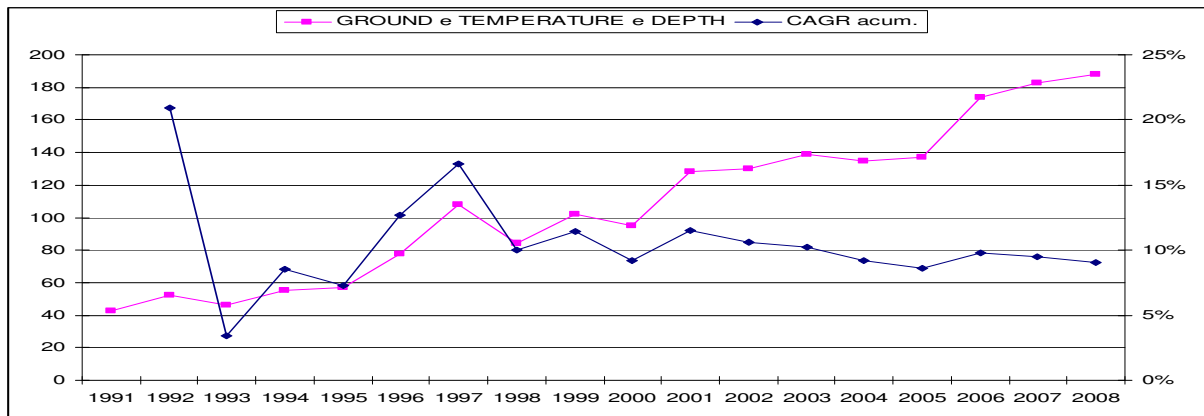


Gráfico 12

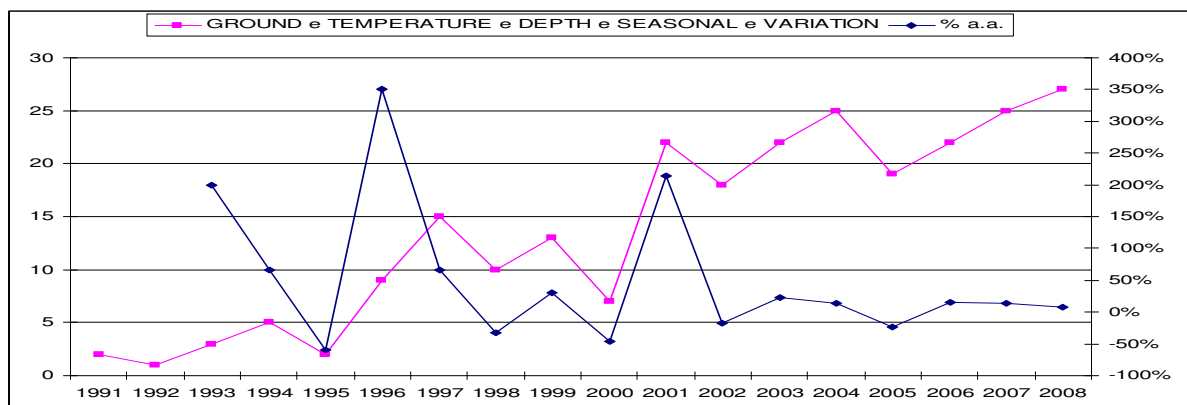
Fonte: Dados da pesquisa

**Gráfico 13**

Fonte: Dados da pesquisa

Nota-se que ocorre uma tendência de crescimento na quantidade de publicações sobre esta combinação. Isto indica que as pesquisas, especialmente a partir da segunda metade da década de 90, apresentaram incremento médio nas publicações, e a taxas próximas de 9% ao ano.

A combinação acima não necessariamente indicaria propensão ao uso da propriedade do subsolo em manter uma temperatura estável em função da profundidade. Contudo, poderia se pensar nesta propensão se os estudos estivessem incluindo o perfil sazonal da temperatura do subsolo. Em outras palavras, se as pesquisas buscassem descobrir se a estabilidade da temperatura era confirmada mesmo em um período de um ano, atravessando verão e inverno, então a propensão poderia se confirmar. Os termos "seasonal" e "variation" foram incluídos no rastreamento. Os resultados são apresentados nos gráficos 14 e 15.

**Gráfico 14**

Fonte: Dados da pesquisa

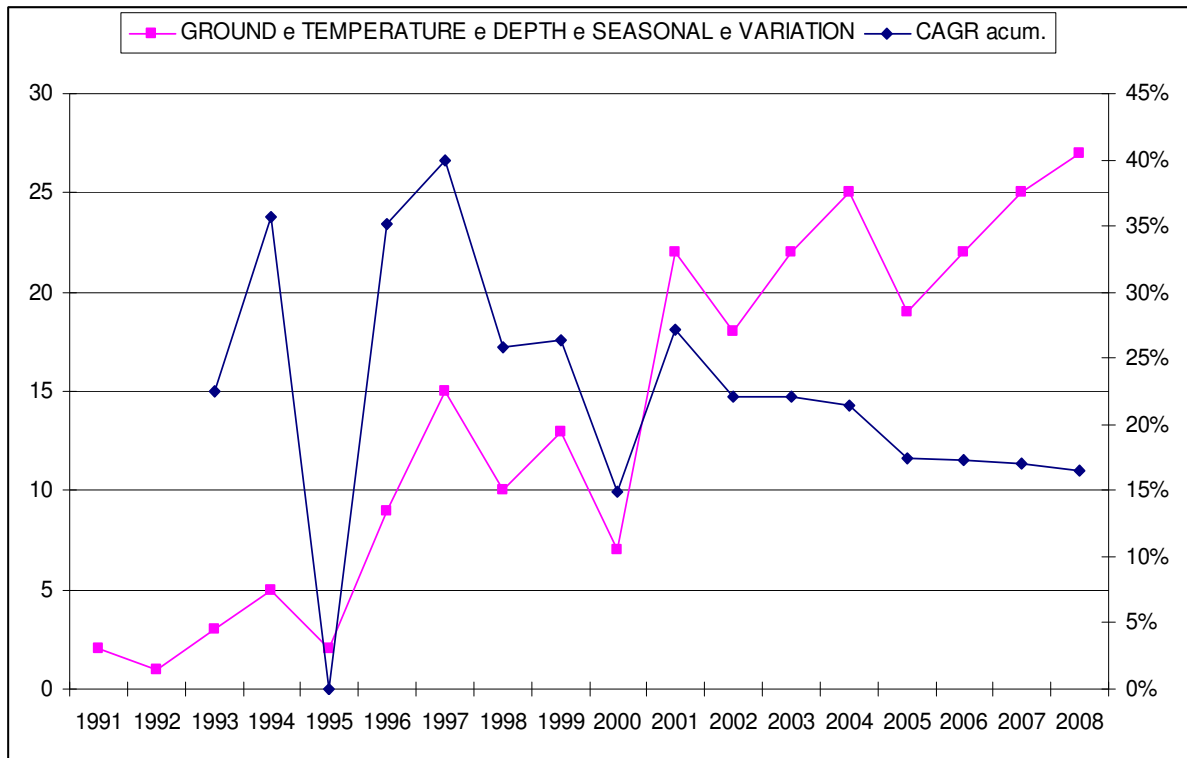


Gráfico 15

Fonte: Dados da pesquisa

O incremento médio nas publicações com os termos "seasonal" e "variation" combinados aos termos "ground", "temperature" e "depth" é bem maior do que aquele observado sem os respectivos termos. Isto indica que a partir da metade da década de 90 houve maior interesse em estudar as propriedades térmicas do subsolo, sendo plausível considerar que um dos focos das pesquisas fosse a estabilidade da temperatura ao longo das estações do ano. Em outras palavras, o uso desta propriedade do subsolo poderia ser iminente para quem estivesse monitorando as tecnologias rastreadas.

Outra abordagem interessante seria comparar a quantidade de publicações das pesquisas sobre "heat", "exchanger" e "heat pump" como um todo com a quantidade de publicações que incluíam estes termos com "ground" ou "water". O primeiro rastreamento captaria o que se tem pesquisado de forma geral, e o segundo rastreamento captaria estas pesquisas em conjunto com "ground" ou "water". Se houver maior crescimento neste segundo rastreamento, ele indicaria uma possível nova rota tecnológica. A figura 7 e os gráficos 16, 17, 18 e 19 mostram os resultados.

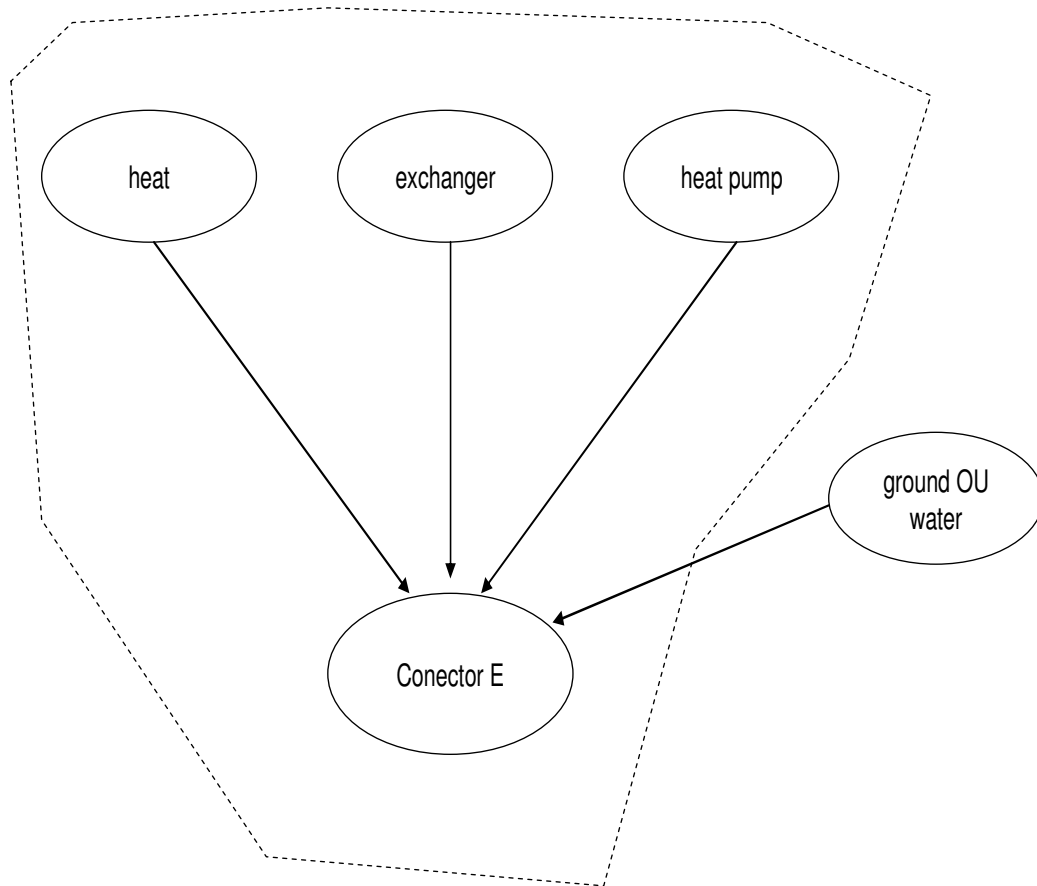


Figura 7

Fonte: Dados da pesquisa

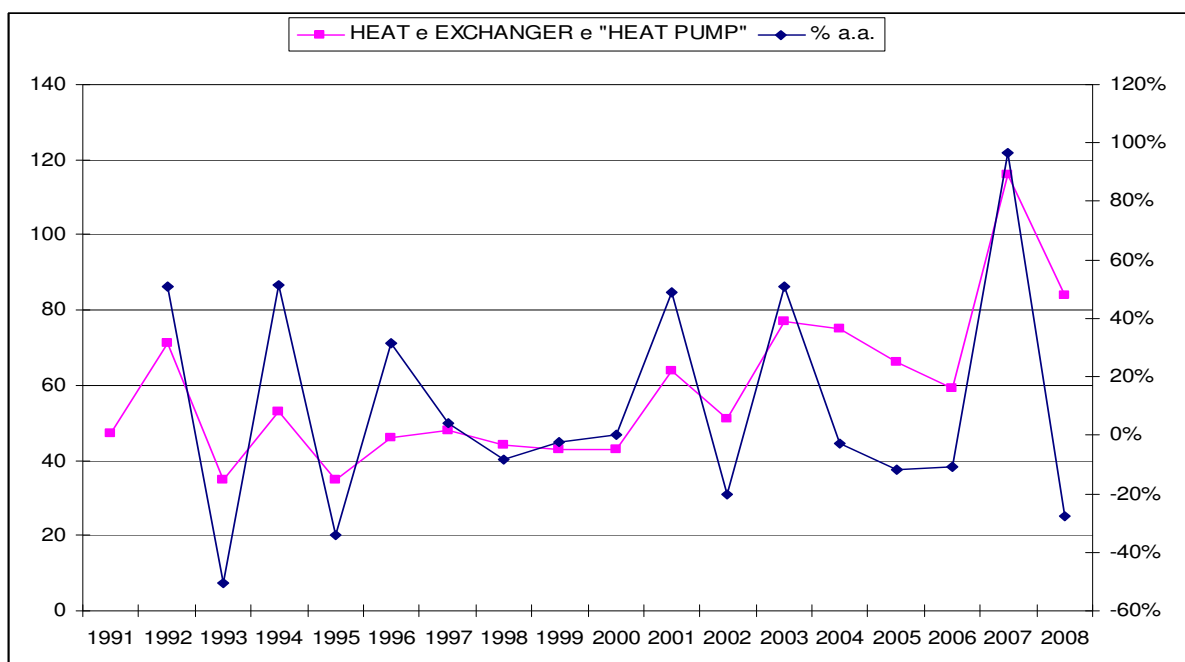


Gráfico 16

Fonte: Dados da pesquisa

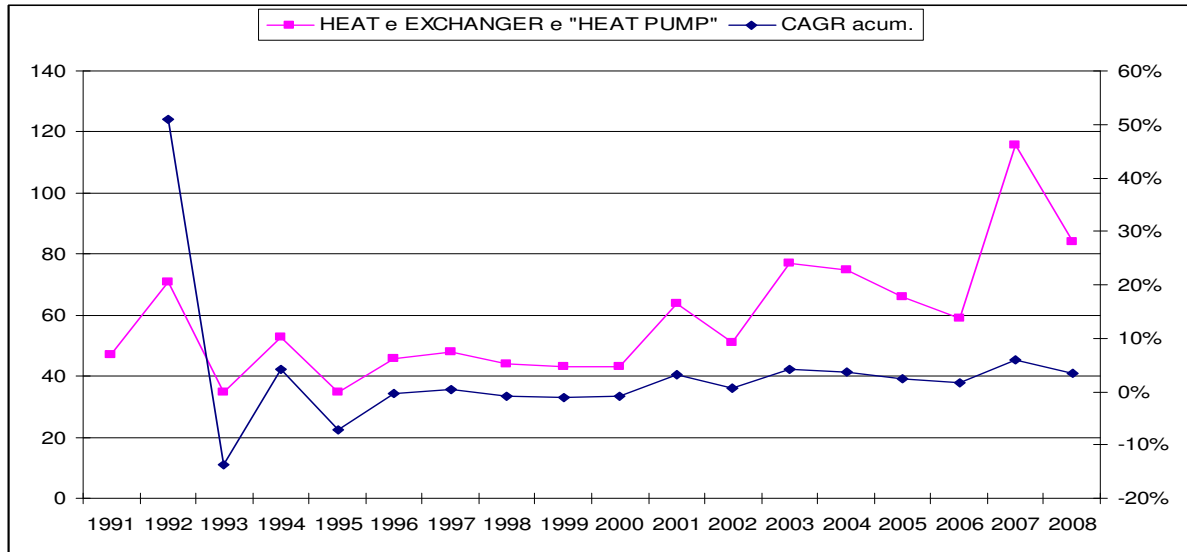


Gráfico 17

Fonte: Dados da pesquisa

Observa-se que o desenvolvimento de pesquisas sobre "heat", "exchanger" e "heat pump", por ser amplo e abrangente, apresenta crescimento marginal, pequeno comparado com o total de publicações ao longo dos anos.

Por outro lado, ao se adicionar os termos "ground" ou "water" aos termos anteriores, nota-se que o crescimento apresentado torna-se mais significativo, o que indica que o interesse no fenômeno de troca de calor por bomba de calor submersa em água ou no subsolo aumentou em relação ao total de pesquisas.

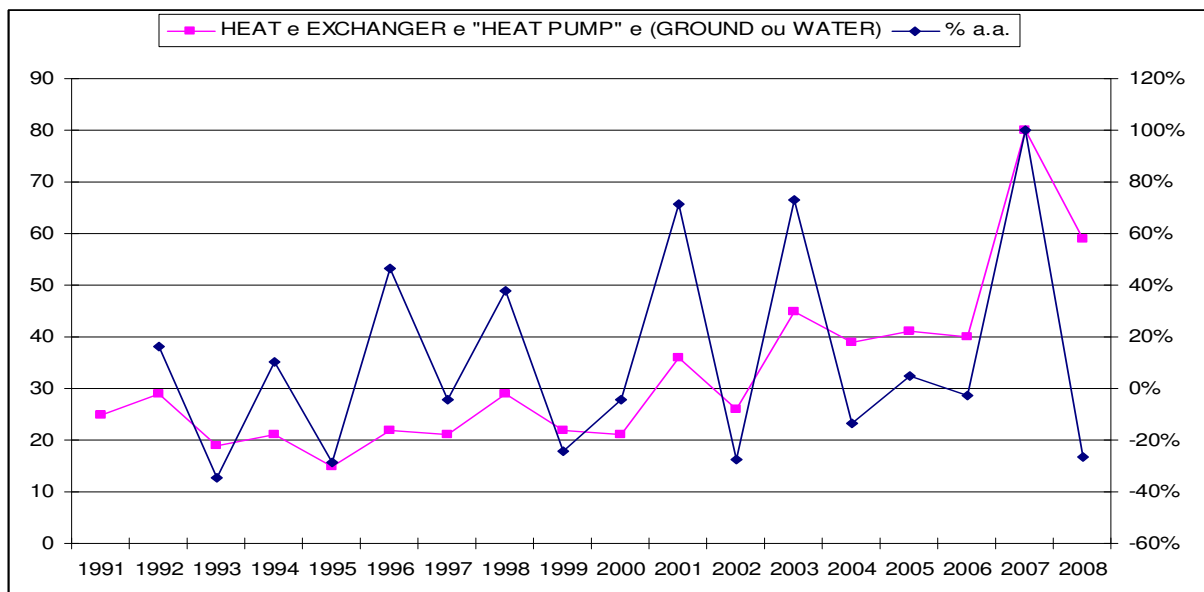
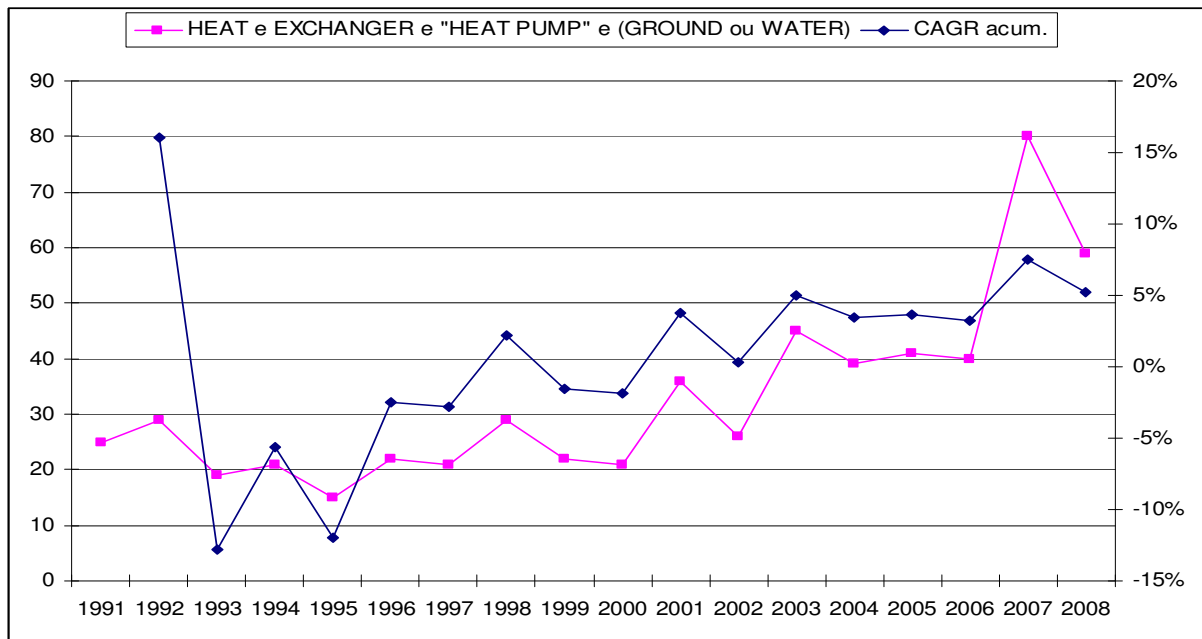


Gráfico 18

Fonte: Dados da pesquisa

**Gráfico 19**

Fonte: Dados da pesquisa

Um grupo que estivesse rastreando as tecnologias relacionadas teria a atenção sobre este fenômeno em meados da década de 90. É importante ressaltar que o presente estudo tenta avaliar se a análise bibliométrica, utilizada para prospectar e monitorar tecnologias emergentes, poderia indicar a propensão ao desenvolvimento de tecnologias relacionadas ao uso de bombas de calor geotérmicas para climatização de ambientes. Deve ser lembrado que o rastreamento estaria sendo feito ao longo do período de análise, e não a posteriori. Não são utilizadas outras técnicas de análise de dados, pois para todos os efeitos, os dados até 2008 não seriam disponíveis para os pesquisadores que implementariam o rastreamento. Também não se executa uma confirmação sobre os resultados totais e as conclusões passíveis de terem sido adotadas pelos pesquisadores durante a prospecção. Este não era objetivo do presente estudo.

Alguns termos previamente escolhidos para rastreamento não mostraram indicações que pudessem chamar a atenção dos pesquisadores. Termos como "borehole", "u-tube", "vertical borehole", "coupled" e aqueles relacionados às mudanças climáticas não mostraram associação relevante que indicasse a relação da tecnologia rastreada com os possíveis caminhos ou novas rotas tecnológicas. Isto não implica que daqui para o futuro eles não venham a ser relevantes.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

Considerando a análise bibliométrica como uma ferramenta para rastrear tecnologias emergentes, o presente estudo mostrou que ela pode servir como instrumento para identificar sinais de maior interesse e investimento em determinadas rotas tecnológicas. Também pode servir para subsidiar a tomada de decisões estratégicas relacionadas aos investimentos em tecnologia, em especial como um recurso que reduz o grau de incertezas no processo decisório.

A tecnologia rastreada pôde ser identificada como uma possível candidata ao aumento de interesse, e esta identificação teria sido possível por meio do uso da bibliometria ao longo do período estudado. É certo que esta conclusão apresenta limitações, como aquelas já relatadas neste estudo, contudo, o importante aqui é que o conceito por trás da metodologia se mostra válido e aplicável, mantidas as devidas delimitações e definições necessárias para o uso do método.

Prospectar tecnologias emergentes cujos ciclos de vida podem se consolidar alguns anos após a data em que são analisadas é um dos grandes desafios estratégicos, seja para organizações ou governos. Este estudo teve um foco em avaliar o uso da bibliometria para suportar a prospecção tecnológica e obter, dessa forma, maior segurança para a tomada de decisões. Esta última área do conhecimento apresenta diversas contribuições acadêmicas que devem ser consideradas quando se busca mitigar os riscos das decisões, especialmente com o uso de ferramentas prescritivas para suportar as decisões – e a análise bibliométrica pode contribuir no uso destas ferramentas. Um bom caminho para pesquisas futuras talvez seja avançar na pesquisa do uso da bibliometria de forma combinada com outros métodos de prospecção, visando melhorar o potencial de subsídio à decisão.

Igualmente interessante é a agregação do rastreamento sobre conteúdo integral de publicações, visando calcular a distância semântica entre os termos. Esta abordagem poderia agregar mais valor à capacidade de identificação de tecnologias emergentes, embora onere o tempo do processo de pesquisa.

Como comentado, pode ser interessante estudar uma integração entre o uso da análise bibliométrica com alguma metodologia de consulta a especialistas, procurando identificar se a análise bibliométrica seria mais eficaz se realizada em fases intercaladas com a consulta aos especialistas, ou se ela poderia ser

aplicada em seguida a uma consulta preliminar. Esta sugestão ganhou corpo ao longo do presente estudo, pois nesta pesquisa a consulta aos especialistas foi substituída por pesquisa bibliográfica sobre as tecnologias relacionadas.

REFERÊNCIAS

- Almeida, F.C., Onusic, L.M. & Lesca, H. (2007). Criação de sentido e criatividade no monitoramento estratégico do ambiente. *Revista de Administração*, 42, (4), 405-413.
- Archambault, E., Campbell, D. Gingras, Y. & Larivière, V. (2009). Comparing Bibliometric Statistics Obtained From the Web of Science and Scopus. *Journal of the American society for information science and technology*, 60(7),1320–1326.
- Castro, C.M. (2006). *A Prática da Pesquisa* (2º ed.). São Paulo: Pearson Prentice Hall.
- Coates, V., Farooque, M., Klavans, R., Lapid, K., Linstone, H. A., Pistorius, C. & Porter, A. L. (2001). *On the Future of Technological Forecasting*. North-Holland: Elsevier Science.
- Cruz, P.T.A. (2008). Processo de Regulamentação da Eficiência Energética no Brasil. *Fórum de Eficiência Energética em Edificações*. Apresentação do Ministério das Minas e Energia realizada em abril de 2008.
- Daim, T.U., Ploykitikoon, P., Kennedy, E. & Choothian, W. (2008). *Forecasting the future of data storage: case of hard disk drive and flash memory*. Emerald Group Publishing Limited.
- Daim, T.U., Rueda, G.R. & Martin, H.T. (2005). Technology forecasting using bibliometric analysis and system dynamics. *Technology Management: A Unifying Discipline for Melting the Boundaries*, Jul./aug., 112-122. Recuperado em agosto de 2010, de <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=1509681&isnumber=32329>.
- Day, G.S. & Schoemaker, P.J.H. (2000). Avoiding the pitfalls of emerging technologies. *California Management Review*, 42 (2).
- Elbanna, S. (2006). *Strategic Decision Making: Process Perspectives*. Department of Business Administration, Faculty of Commerce, Cairo University, Giza 12613, Egypt.
- Gil, A.C. (1987). *Como Elaborar Projetos de Pesquisa*. São Paulo: Atlas.
- Glenisson, P.; Glänzel, W.; Janssens, F. & De Moor, B. (2005). Combining full text and bibliometric information in mapping scientific disciplines. *Information Processing and Management*, 41, 1548–1572.

- Hughes, P.J. (Coord.). (2008). *Geothermal (Ground-Source) Heat Pumps: Market Status, Barriers to Adoption, and Actions to Overcome Barriers*. Oak Ridge National Laboratory - Energy and Transportation Science Division.
- Kahneman, D. & Tversky, A. (1979). Prospect Theory: an analysis of decision under risk. *Econometrica*, 47 (2).
- Khatri, N. & Ng, H.A. (2000). The Role of Intuition in Strategic Decision Making. *Human Relations*, 53 (1).
- Kostoff, R.N., Rio, J.A., Humenik, J.A. & Ramirez, A.M. (2001). Citation Mining: Integrating Text Mining and Bibliometrics for Research User. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*; 52 (13), 1148.
- March, J.G. (1978). Bounded Rationality, Ambiguity and The Engineering of Choice. *Bell Journal of Economics*, 9 (2), 587.
- Porter, A.L. (2007). How tech mining can enhance R&D management. *Research Technology Management*, 50 (2), 15.
- Swenka, M.J. (2008). *An energy and cost analysis of residential ground-source heat pumps in Iowa*. Dissertação de Mestrado. Iowa State University, Ames, Iowa.
- Vidican, G., Woon, W.L. & Madnick, S. (2009). Measuring innovation using bibliometric techniques: The case of solar photovoltaic industry. *Sloan School of Management*, MIT.
- Watts, R.J. & Porter, A.L. (1997). Innovation Forecasting. US Army RDECOM-TARDEC 6501 E 11 Mile Rd Warren, MI 48397-5000.
- Woon, W.L. & Madnick, S. (2009). Asymmetric information Distances for Automated Taxonomy Construction. *Knowledge Information Systems*, 21, 91-111.
- Woon, W.L., Henschel, A. & Madnick, S. (2009). *A Framework for technology forecasting and visualization*. MIT Sloan School of Management.
- Wright, J.T.C. & Spers, R.A.G. (2006). O país no futuro: aspectos metodológicos e cenários. *Estudos Avançados*, 20 (56).
- Ziegler, B., Firat, A.K., Li, C., Madnick, S. & Woon, W.L. (2009). *Preliminary Report on Early Growth Technology Analysis*. Composite Information Systems Laboratory (CISL) - Sloan School of Management, Room E53-320 - Massachusetts Institute of Technology. Cambridge, MA 02142. April 2009.
- Zlotin, B. & Zusman, A. (1999). Managing Innovation Knowledge – The Ideation approach to the search, development, and utilization of innovation knowledge. *Journal for the Altshuller Institute for TRIZ Studies*.