



ANTONIO CARLOS VENTILII MARQUES

**PREVISÃO TECNOLÓGICA DE MÉDIO E LONGO PRAZO:
BOMBAS DE CALOR E SINERGIA COM ENERGIAS
RENOVÁVEIS**

**CAMPINAS
2013**



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA

ANTONIO CARLOS VENTILII MARQUES

**PREVISÃO TECNOLÓGICA DE MÉDIO E LONGO PRAZO:
BOMBAS DE CALOR E SINERGIA COM ENERGIAS RENOVÁVEIS**

Orientador: Prof. Dr. Wagner dos Santos Oliveira

Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de Engenharia Química da UNICAMP, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Química.

**ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA TESE
DEFENDIDA PELO ALUNO ANTONIO CARLOS VENTILII MARQUES
E ORIENTADA PELO PROF.DR. WAGNER DOS SANTOS OLIVEIRA**

Assinatura do Orientador

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Wagner dos Santos Oliveira", with a long horizontal flourish extending to the right.

CAMPINAS
2013

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca da Área de Engenharia e Arquitetura
Rose Meire da Silva - CRB 8/5974

M348p Marques, Antonio Carlos Ventilii, 1974-
Previsão tecnológica de médio e longo prazo: bombas de calor e sinergia com energias renováveis / Antonio Carlos Ventilii Marques. – Campinas, SP : [s.n.], 2013.

Orientador: Wagner dos Santos Oliveira.
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Química.

1. Delphi, Metodo. 2. Bombas de calor. 3. Previsão tecnológica. I. Oliveira, Wagner dos Santos, 1947-. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Química. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em outro idioma: Previsão tecnológica de médio e longo prazo: bombas de calor e sinergia com energias renováveis

Palavras-chave em inglês:

Delphi methodology

Technological forecast

Heat pump

Área de concentração: Ciência e Tecnologia de Materiais

Titulação: Mestre em Engenharia Química

Banca examinadora:

Wagner dos Santos Oliveira [Orientador]

Maria Alice Morato Ribeiro

José Tomaz Vieira Pereira

Data de defesa: 12-07-2013

Programa de Pós-Graduação: Engenharia Química

Folha de aprovação

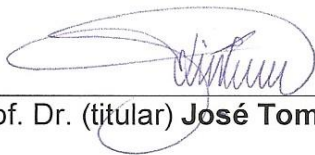
Dissertação de Mestrado ou Tese de Doutorado defendida por **Antonio Carlos Ventili Marques** e aprovada em **12 de Julho de 2013** pela banca examinadora constituída pelos doutores:



Prof. Dr. **Wagner dos Santos Oliveira** - Orientador



Dr.(titular) **Maria Alice Morato Ribeiro**



Prof. Dr. (titular) **José Tomaz Vieira Pereira**

Prof.Dr.(titular)

Prof. Dr.(titular)

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Prof. Dr. Wagner dos Santos Oliveira, pela orientação e apoio, à minha família e, em especial, à minha esposa, Juliana, e à Dra. Eva, pelo incentivo.

À Faculdade de Engenharia Química da Unicamp, pela oportunidade, e à APROBIO, - Associação dos Produtores de Biodiesel do Brasil, pelo tempo disponibilizado para que este trabalho se tornasse realidade.

Agradeço também a todos os especialistas que participaram deste estudo, pois os resultados são frutos do tempo dedicado por cada um à resposta e sugestões às perguntas contidas nos questionários utilizados na pesquisa.

“A melhor maneira de prever o futuro é criá-lo”

Peter Drucker

RESUMO

O presente trabalho é um estudo de previsão tecnológica para bombas de calor e sua sinergia com energias renováveis. A previsão da evolução das tecnologias é uma atividade relevante para indústria e governos. Existem diversas metodologias à disposição para realizar este tipo de estudo. O domínio dessas metodologias pode trazer ganhos à sociedade ou ser uma condição necessária para a perenidade de empresas. A segurança energética é um tema relevante que induz a procura por alternativas às energias não renováveis. O estudo buscou avaliar a tendência e o potencial de sinergia das energias renováveis nos equipamentos de condicionamento de ar para uso residencial num futuro probabilístico de 20 a 30 anos, analisando o potencial de entrada no mercado de tecnologias movidas a calor de fontes renováveis nas residências, assim como buscou avaliar possíveis mudanças nas configurações desses equipamentos. O trabalho consultou especialistas do mundo todo, identificando-os por clima. Os sistemas foram avaliados por partes, considerando as tecnologias movidas a calor em conjunto com o ciclo de compressão de vapor, assim como a importância do desempenho técnico e financeiro. A divisão dos sistemas por partes buscou realçar eventuais mudanças estruturais necessárias à introdução de uma nova tecnologia, enquanto a avaliação simultânea dos ciclos e dos desempenhos técnico e econômico teve como objetivo identificar os pesos relativos desses parâmetros. A segregação dos especialistas por clima buscou identificar a importância relativa do clima perante os demais fatores na adoção de uma determinada tecnologia. A metodologia Delphi foi utilizada para este estudo de previsão tecnológica, no qual foram aplicadas as seguintes condições de contorno: mercado residencial e ambiente sem mudanças significativas no sistema regulatório existente. A maioria dos especialistas identificou o ciclo de compressão de vapor com dissipação de calor diretamente para o ar como a tecnologia dominante no mercado residencial para o futuro de 20 a 30 anos. O ciclo de absorção apareceu como o segundo maior resultado para o futuro avaliado. Os resultados por clima não trouxeram diferenças significativas, o que pode indicar que a utilização de tecnologias globais ou as condições econômicas, políticas, sociais e tecnológicas do país possuem uma relevância maior que o seu clima. A comparação de tecnologias é realizada principalmente pelo fator econômico, pelos custos de investimento e operação, tudo somado a uma avaliação de desempenho ampla, como o fator de desempenho sazonal. A energia solar térmica para aquecimento de água aparece como um provável padrão para as novas construções. No aspecto de aplicação da tecnologia, observou-se que o uso de perguntas no formato matriz aumenta a complexidade do questionário para o participante e também a análise dos resultados. O uso de perguntas abertas e lista não fechada é um instrumento eficaz para receber as contribuições dos especialistas. O estudo foi encerrado na segunda rodada, pela estabilidade obtida nos resultados, assim como não foi observada divergência entre os especialistas que participaram das duas rodadas com os que participaram apenas da segunda.

Palavras-chave: Metodologia Delphi, Previsão tecnológica, bomba de calor.

ABSTRACT

The present work is a technological forecasting study for heat pumps and the possible synergy with renewable energy. The prediction of the technological development is a relevant activity for industry and governments. There are several methodologies available to perform this type of study. Mastery of these methodologies can bring gains to society or be a necessary condition for the survival of companies. Energy security is an important issue which induces the search for alternatives to non-renewable energy. The study sought to evaluate the trend and synergy potential of renewable energy in air conditioning equipment for residential use in a 20-30 year future assessing the potential market of renewable heat driven technologies in households, as well as changes in equipment design. Experts around the world were consulted and identified by climate. The systems were evaluated by parts, considering the heat driven technologies along with vapor compression cycle, as well as the importance of the technical and financial performance. The block approach aimed to highlight any structural changes necessary for the introduction of a new technology, while simultaneous evaluation of cycles and technical and economic performances was intended to identify the relative weights of these parameters. Segregation by climate experts sought to identify the relative importance of climate compared to other factors in the adoption of a particular technology. The Delphi methodology was used for this forecast. The boundary conditions were: residential market without significant changes in the existing regulatory system. Most experts identified the vapor compression cycle with heat rejection directly into the air as the dominant technology in the residential market for the 20-30 year future. The absorption cycle appeared as the second- largest measured results for this future. Results by weather brought no significant differences, which may indicate technologies will be applied worldwide and country specific economic political, social and technological environment stage may have a greater relevance than its climate. The comparison of technologies is carried out mainly by economic performance, investment costs and operation, and broad performance evaluation, such as seasonal performance factor. Solar water heating appears as a likely standard for new constructions. In the methodological side, the use of questions in matrix format increases the complexity to participants and also to the analysis. The use of open questions and lists are an effective instrument to receive contributions from experts. The study was terminated in the second round, as stability in the results was observed as well as no difference among experts who participated in both rounds with those who participated only in the second round.

Key words: Delphi methodology, technological forecast, heat pump

LISTA DE FIGURAS

Figura 2-1- Produção primária de energia no Brasil.	6
Figura 2-2 - Produção de energia elétrica por fonte. Brasil 2010.	9
Figura 2-3 - Comunidade Europeia – geração de energia elétrica por fonte- 2011	10
Figura 2-4 - Estrutura do Consumo de Energia Elétrica por uso final. Residências	12
Figura 2-5 - Equipamentos eletrodomésticos por domicílio	12
Figura 2-6 - Participação dos eletrodomésticos no consumo residencial.	14
Figura 2-7 - Curva de consumo médio diário - Brasil.	14
Figura 3-1 – Ciclo de compressão de vapor	19
Figura 3-2 - Esquema de sistema geotérmico de dupla função	21
Figura 3-3 - Ciclo de Absorção de um estágio.	22
Figura 3-4 - Temperatura da fonte quente e COP	24
Figura 3-5 - Esquema ciclo de Adsorção	25
Figura 3-6 - Ciclo aberto com dissecante líquido	26
Figura 3-7 - Ciclo aberto com dissecante sólido.	27
Figura 4-1 – Ciclo de previsão tecnológica.	31
Figura 4-2 - Exemplo de curva envelope	39
Figura 5-1- Países com pesquisadores e macrorregiões	50
Figura 5-2 - Distribuição dos pesquisadores por região	51
Figura 5-3 - Climas do Brasil segundo classificação Köppen-Geiger	55
Figura 6-1- Rodada 1 - Campo de atuação	58
Figura 6-2 - Rodada 2 - Campo de atuação	58
Figura 6-3 - Rodada 1 – Experiência	59
Figura 6-4 - Rodada 2 - Experiência	59
Figura 6-5 - Rodada 1 – Clima do local do participante	60
Figura 6-6 - Rodada 2 - Clima do local do participante	60
Figura 6-7 - Rodada 1 - Potencial de redução	61
Figura 6-8 - rodada 1 - Potencial de redução por clima	62
Figura 6-9 - Potencial de redução - comparação	63
Figura 6-10 - rodada 1 - tecnologia de retirada de calor	64
Figura 6-11 - rodada 1 - tecnologia de retirada de calor - quantitativo	65
Figura 6-12 - Tecnologia de retirada de calor - comparativo qualitativo	66
Figura 6-13 - tecnologia de retirada de calor - comparativo - quantitativo	67
Figura 6-14 - rodada 1 - associação a energia renovável	68
Figura 6-15 - Associação a energia renovável - comparativo qualitativo	69
Figura 6-16 - Rodada 1 - Tecnologia da bomba de calor- qualitativo	70
Figura 6-17 - Rodada 2 - Tecnologia da bomba de calor	70
Figura 6-18 Rodada 1 - Tecnologia de rejeito de calor - qualitativo	71
Figura 6-19 - Tecnologia de rejeito de calor - qualitativo - comparativo	72
Figura 6-20 - Rodada 1 - Importância dos indicadores	74
Figura 6-21- Rodada 2 - Importância dos indicadores	75
Figura 6-22 - Rodada 1 - Uso da energia solar térmica - qualitativo	76

Figura 6-23 - Uso da energia solar térmica - comparativo qualitativo	77
Figura 6-24 - Rodada 1 - Potencial de redução de custo com material polimérico	78
Figura 6-25 - Rodada 2 - Potencial de redução de custo com material polimérico	78
Figura 6-26 - Rodada 2 - fatores para associação da energia renovável	80
Figura 10-1 Sistema termodinâmico fechado e suas interações com o ambiente	99
Figura 10-2 - Máquina térmica	100
Figura 10-3 - Ciclo de Carnot	104
Figura 10-4 - Representação de máquina térmica e geração de entropia	105
Figura 10-5 - Representação de refrigerador e geração de entropia	106

LISTA DE ABREVIATURAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ASHP	<i>Air Source Heat Pump</i>
ASHRAE	<i>American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers</i>
CEE	Coeficiente de Eficiência Energética
CRESESB	Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito
COP	Coeficiente de Desempenho (<i>Coefficient of Performance</i>)
EIA	<i>Energy Information Administration</i>
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
ER	Energia Renovável
HVAC	<i>Heating, Ventilation and Air Conditioning</i>
IEA	<i>International Energy Agency</i> (Agência Internacional de Energia)
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
LiBr	Solução de Brometo de Lítio
MME	Ministério de Minas e Energia
PCH	Pequena Central Hidroelétrica
PQI	<i>Process Quality Index</i>
SHC	<i>Solar Heating and Cooling</i>
UNDP	<i>United Nations Development Program</i>
UNEP	<i>United Nations Environment Program</i>
WEA	<i>World Energy Assessment</i>

Subscritos:

A	Ambiente
el	Elétrico
sys	Sistema
th	Térmico
H	Fonte quente
C ou L	Fonte fria

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	REFERÊNCIAS SOBRE O CONSUMO DE ENERGIA.....	5
2.1	Fontes de energia renovável.....	6
2.2	Energia elétrica.....	8
2.3	O consumo energético de residências	11
2.4	A eficiência energética das residências.....	15
2.5	O papel dos sistemas de refrigeração e ar condicionado	15
3	SISTEMAS DE AR CONDICIONADO	17
3.1	Ciclo de compressão de vapor.....	18
3.2	Ciclo de Absorção	21
3.3	Ciclo de Adsorção	24
3.4	Ciclo Aberto ou Dissecante.....	26
3.5	Associação das energias renováveis	28
4	PREVISÃO TECNOLÓGICA.....	31
4.1	<i>Brainstorming</i>	36
4.2	Cenários	36
4.3	<i>Roadmaps</i>	37
4.4	Modelagem Estatística e Curva S.....	37
4.5	Bibliometria.....	40
4.6	Tomada de Decisão Robusta.....	40
4.7	Metodologia Delphi	40
4.7.1	Aplicação da metodologia Delphi	41
4.7.2	Vantagens	43
4.7.3	Desvantagens	44

4.7.4	Recomendação do uso da metodologia Delphi	45
4.8	A escolha da metodologia	45
5	APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DELPHI	47
5.1	Levantamento dos especialistas.....	47
5.2	Validação da lista de especialistas.....	48
5.3	Desenvolvimento do questionário	52
5.4	Envio do questionário	55
6	RESULTADOS.....	57
6.1	Campo de atuação.....	57
6.2	Conhecimento do tema	58
6.3	Clima.....	59
6.4	Potencial de melhoria das construções	61
6.5	Tecnologia para retirada de calor	63
6.6	Associação com energias renováveis.....	67
6.7	Tecnologias de bomba de calor	69
6.8	Dissipação do calor.....	71
6.9	Índice de desempenho do sistema	72
6.10	Uso da energia solar térmica	75
6.11	Potencial do uso de material polimérico	77
6.12	O que pode alterar a previsão realizada	79
6.13	Elementos não abordados.....	80
6.14	Avaliação dos resultados e critérios de parada.....	81
7	CONCLUSÕES	83
8	TRABALHOS FUTUROS	87
9	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	89

10	ANEXO A – REVISÃO TERMODINÂMICA.....	97
10.1	Equilíbrio e coordenadas termodinâmicas	98
10.2	A primeira Lei da Termodinâmica	99
10.3	Trabalho e Calor	100
10.4	A segunda Lei da Termodinâmica.....	101
10.5	Ciclos de trabalho – eficiência de Ciclo	103
10.6	Máquinas térmicas e refrigeradores.....	104
10.7	Exergia e a destruição do trabalho útil.....	108
	ANEXO B – Questionário primeira rodada	111
	ANEXO C – Carta convite primeira rodada.	115
	ANEXO D – Lembrete da primeira rodada.....	117
	ANEXO E – Questionário da segunda rodada	119
	ANEXO F – Convite da segunda rodada	129
	ANEXO G – Lembrete da segunda rodada.....	131
	ANEXO H – Resposta SPAM.....	133

1 INTRODUÇÃO

Prever ou moldar o futuro é uma aspiração inerente à natureza humana. O futuro não pode ser totalmente controlado pela sociedade, mas a evolução da capacidade humana aumentou as nossas possibilidades de gerar tendências para influenciar o futuro. As forças da natureza e as dinâmicas sociais e políticas, associadas às inovações tecnológicas e descobertas científicas, afetam significativamente essa evolução. As metodologias de previsão tecnológica se propõem a explorar, criar e testar futuros desejáveis ou possíveis de forma sistêmica para melhorar a tomada de decisão (GLENN, 2009).

A análise de projeções é uma atividade contínua. As metodologias de previsão tecnológicas não são perfeitas, por isso é importante utilizar mais de uma técnica nesse processo. A previsão tecnológica tem também a característica de autorrealização ou autodestruição. Imaginar uma nova tecnologia pode contribuir para o seu desenvolvimento, ou servir de catalisador para o desenvolvimento de outras áreas do conhecimento. A previsão de um problema futuro pode fomentar ações que venham a evitar, ou pelo menos retardar, o problema inicialmente previsto. Nestes casos, apesar das previsões se mostrarem como muito imprecisas, elas foram extremamente úteis (GLENN, 2009).

Identificar as tendências e criar a visão futurista se apresenta como um conjunto de atividades realizadas tanto pelo setor empresarial quanto por governos. Tais atividades são aspirações naturais com a intenção de planejar o futuro, preparar as organizações para as mudanças ou controlar o seu impacto (MOON, 2003).

A criação de uma visão de longo prazo pode ser vital para o sucesso e a perenidade de instituições, empresas e governos. O desenvolvimento das tecnologias de informação e processamento de dados deixou o avanço tecnocientífico cada dia mais ágil, e isso pode ser observado pelo aumento na taxa de publicações das últimas décadas. Uma consulta comparativa do número de publicações no portal *Science Direct* com os termos *engineering* ou *solar* nos anos de 1994 e 2011 mostrou um aumento de duas a quatro vezes no número de artigos (SCIENCE DIRECT, 2012).

Uma abordagem contemporânea dos temas inclui uma visão multidisciplinar, o que traz diferenças nos pontos de vista e nas expectativas para o problema, transformando a construção e gestão do conhecimento numa tarefa cada vez mais complexa. O aumento no número de fatores na modelagem do futuro aumenta a sua incerteza, ou a faixa de probabilidade de ocorrência do evento futuro, influenciado pelas incertezas das variáveis e pelos dados de entrada.

Quando se trata do estudo da energia, tem-se um tema relevante na agenda dos governos, sendo considerado um elemento estratégico e de segurança nacional. Os investimentos em energia costumam ser expressivos e são viabilizados por financiamentos de longo prazo realizados, normalmente, pelos governos. A decisão de investimento nessa área exige planejamento e previsões de um ambiente estável e favorável durante o período necessário ao retorno do investimento.

As discussões sobre mudanças climáticas, emissão de gases de efeito estufa, poluição ambiental e esgotamento de recursos naturais trazem ao debate temas como a busca de fontes alternativas de energia, o aumento da participação de energias renováveis na matriz energética e ações de eficiência energética.

O consumo de energia pode ser dividido em grandes segmentos, como: industrial, transportes, residencial, energético, agropecuária e serviços. Cada setor possui um padrão característico de uso da energia. As residências brasileiras respondem, por exemplo, por aproximadamente 10% da demanda energética total, porém mais de 23% do consumo de energia elétrica (EPE, 2011).

O consumo de energia elétrica pelas residências apresenta uma tendência de aumento. Isso ocorre em razão da previsão de aumento da posse de equipamentos elétricos, como equipamentos de ar-condicionado, refletindo políticas de inclusão social e aumento de renda (EPE, 2011).

Os equipamentos de ar-condicionado respondem por uma parcela do consumo de energia elétrica das residências, do setor de comércio e de serviços. A sinalização desse aumento, no caso europeu, ocorre pela mudança no período do ano quando ocorre o pico de demanda, que passou dos meses de inverno para os meses de verão (EUROPEAN COMMISSION, 2011).

A redução na demanda por energia elétrica pode passar por ações de aumento da eficiência energética ou pela substituição da fonte de energia. Exemplo de ações de eficiência energética inclui a substituição de equipamentos por modelos mais eficientes, enquanto um exemplo de troca da fonte de energia é o uso da energia solar para o aquecimento de água.

O presente trabalho buscou avaliar, para um futuro probabilístico de 20 a 30 anos, a configuração dos condicionadores de ar no mercado residencial, incluindo o papel de ações de eficiência energética, novas tecnologias e energias renováveis.

A metodologia Delphi foi escolhida para execução do trabalho, com a consulta a especialistas de diversas partes do mundo. O questionário Delphi buscou analisar a configuração futura mais provável dos sistemas de ar condicionado, avaliando individualmente a forma de remoção de calor, a tecnologia da bomba de calor, a dissipação desse calor e sua força motriz. Fez-se também uma análise crítica dos aprendizados obtidos com a aplicação prática da metodologia.

2 REFERÊNCIAS SOBRE O CONSUMO DE ENERGIA

Energia é um dos principais temas na agenda dos governos. Os recursos energéticos figuram entre os principais motores da economia e são frequentemente associados a questões de segurança nacional. A matriz de fontes energéticas é gerenciada por meio de políticas públicas que buscam, sempre que possível, a independência energética.

As fontes de energia podem ser classificadas como primárias ou secundárias. As fontes primárias são os produtos energéticos na forma como são providos pela natureza, como petróleo, gás natural, carvão mineral, biomassa, energia solar, eólica, hidráulica, etc. A energia dessas fontes frequentemente passa por centros de transformação para produção de energia secundária, que por sua vez tem como destino os diversos setores de consumo ou, ainda, outro centro de transformação.

No plano global, o Brasil apresenta uma situação equilibrada quanto a sua dependência energética, sendo o carvão mineral a fonte primária com maior taxa de importação. As fontes renováveis, hidráulica e biomassa, possuem um importante papel na matriz energética, respondendo por aproximadamente 47% da energia primária, conforme Figura 2-1. A participação mundial das energias renováveis é bem menor, correspondendo a apenas 12,7%, no ano de 2008 (EPE, 2011).

A Europa é um continente com grande dependência energética, importando combustíveis fósseis de poucos países fornecedores. A redução dos recursos fósseis do continente tem aumentado a dependência da energia importada, passando de 40% nos anos 1980 para 53,9% em 2009, sendo que a maior demanda de energéticos importados foram petróleo (84,1%) e gás natural (64,2%) (EUROPEAN COMMISSION, 2011a).

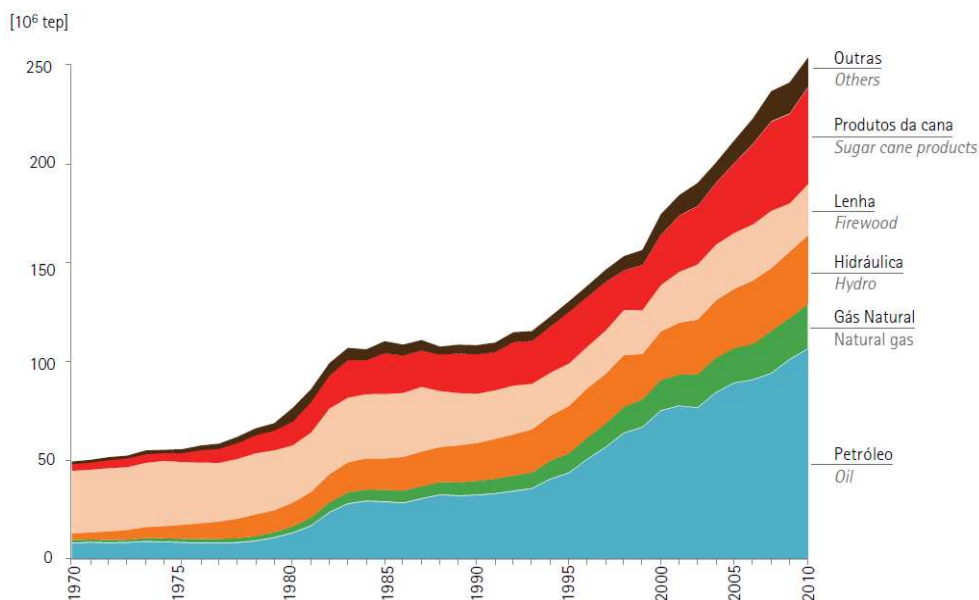


Figura 2-1- Produção primária de energia no Brasil.

Fonte: EPE, 2011

Os consumidores finais podem utilizar diretamente algumas fontes primárias, como a biomassa e o gás natural, ou fontes secundárias de energia, como derivados de petróleo, combustíveis líquidos e derivados de carvão. Os perfis de consumo variam conforme suas características específicas. No Brasil, por exemplo, os setores de consumo são divididos em: energético, residencial, comercial, público, agropecuário, transportes e industrial (EPE, 2011).

2.1 Fontes de energia renovável

Conforme a agência internacional de energia, IEA, “Energias renováveis são fontes derivadas de processos naturais que são constantemente reabastecidos. Esta definição se aplica a uma grande variedade de fontes, derivadas direta ou indiretamente do Sol incluindo solar, hidro, eólica, ondas, biomassa, calor ambiente, mas também incluem fontes não solar, como geotérmica” (IEA, 2007).

Outra definição para energia renovável foi encontrada na página do *Energy Information Administration*: “Fontes de energia que são naturalmente reabastecidas, mas com fluxo limitado. Elas são virtualmente inesgotáveis em duração, mas limitadas na

quantidade de energia disponível por unidade de tempo” (US-EIA, 2011). A combinação dessas definições revela uma característica importante das energias renováveis: elas dependem de fatores naturais que ocasionam flutuações na capacidade de geração.

A energia solar merece destaque entre as fontes de energia renováveis, pela sua abundância e uso potencial. O seu aproveitamento ocorre sob a forma de energia térmica ou fotovoltaica. Outras energias renováveis também podem ser indiretamente associadas à energia solar, como os casos da biomassa, hidráulica e eólica.

As estimativas do fluxo de energia solar recebida pela Terra apontam para um valor muito superior à necessidade de energia primária da humanidade. A energia irradiada sobre os continentes apresenta um potencial utilizável de pelo menos 3,9 vezes toda a necessidade de energia primária mundial (UNDP, 2000 e IPCC, 2008). A intensidade e energia solar média podem ser encontradas na literatura em estudos detalhados por países ou regiões, como os dados para o Brasil, publicados no *site* do Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. (CRESESB, 2013).

A energia hidráulica é a energia existente nas quedas d’água ou nos fluxos dos rios, utilizada para geração de energia elétrica e frequentemente armazenada nos reservatórios das hidroelétricas.

A biomassa é o produto do crescimento vegetal, ou animal, cuja energia está armazenada quimicamente. A participação dessa fonte de energia renovável é observada na matriz energética brasileira nos biocombustíveis, etanol e biodiesel, na geração de energia elétrica, pela queima do bagaço de cana, e para fins de aquecimento e cocção, com queima de lenha.

A energia eólica é a energia cinética dos ventos e convertida em energia elétrica. Essa modalidade de energia renovável vem crescendo no país nos últimos anos e já começa a aparecer na matriz de geração elétrica do país. O desenvolvimento dessa fonte depende da identificação de locais com alta frequência de ventos com energia suficiente, velocidade média acima de 7 a 8 m/s, para tornar a sua exploração viável economicamente.

A energia geotérmica para geração de energia elétrica está limitada a poucos locais onde existe a viabilidade de extração de fluxos de água superaquecida ou vapor. O Brasil, por exemplo, não possui locais propícios para utilizar esse tipo de energia.

Contudo a energia geotérmica de baixa profundidade pode ser utilizada em associação às bombas de calor como meio para dissipar ou extrair calor.

A energia solar pode ser utilizada apenas durante o dia e sua potência varia em função do horário, dia e das condições climáticas, sol ou chuva, da mesma forma que a energia eólica depende da ocorrência dos ventos; essa energia pode faltar, mesmo nas regiões de maior ocorrência de vento. Para que os sistemas operem alimentados exclusivamente com essas fontes de energia é necessário incluir mecanismos para armazenar a energia, como baterias ou acumuladores de energia térmica, tanques de água quente.

A biomassa e hidráulica são acumuladas sob a forma de energia química e potencial e permitem o armazenamento de grande quantidade de energia, para a conversão no momento e na potência em que a energia secundária se faz necessária.

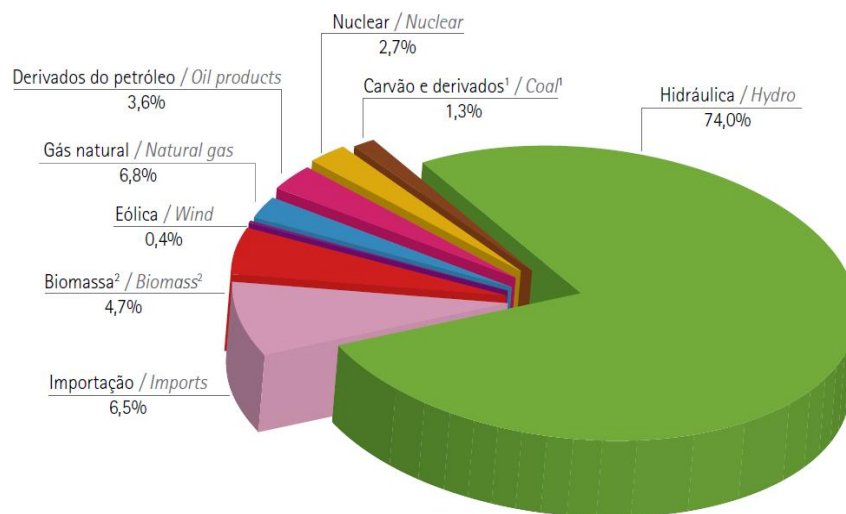
2.2 Energia elétrica

A eletricidade é uma forma de energia com utilização ampla e versátil. A sua produção ocorre pela conversão, nos centros de transformação, das diversas formas de energia, primária ou secundária. O seu uso está presente nos diversos setores da sociedade em equipamentos eletrônicos, iluminação, na geração de energia mecânica e térmica. A sua versatilidade faz com que exista uma demanda crescente e muitas vezes associada ao aumento da renda *per capita*, como observado no Brasil (EPE, 2011).

As fontes primárias utilizadas na geração da energia elétrica diferem entre os países e as regiões, apresentando uma produção baseada em fontes fósseis e renováveis. Os sistemas atuais de geração de energia elétrica utilizam a energia armazenada nos combustíveis fósseis, na biomassa ou na hidroeletricidade, utilizando essa energia a taxas variáveis para que a potência gerada coincida com a demanda flutuante. O princípio de operação básico é o de gerar quando solicitado (BUDISCHAK, 2013).

A produção de energia elétrica no Brasil apresenta uma grande participação das energias renováveis. Em 2010, 74% da energia elétrica foi produzida por hidroeletricidade, conforme Figura 2-2. A participação das energias renováveis na matriz

energética brasileira é bastante privilegiada, entretanto o aumento de consumo projetado gera desafios para a manutenção da participação das fontes renováveis.



Notas/ Notes:

¹ Inclui gás de coqueria/ Includes coke gas.

² Biomassa inclui lenha, bagaço de cana, lixívia e outras recuperações/ Biomass includes firewood, sugar cane bagasse, black liquor and other wastes.

Figura 2-2 - Produção de energia elétrica por fonte. Brasil 2010.

Fonte: EPE, 2011

A comunidade europeia possui uma matriz diferente. Os dados do *Eurostat* sobre as fontes de energia utilizadas na geração de energia elétrica para os 27 países da comunidade europeia no ano de 2011 indicam que uma parcela muito significativa da energia elétrica ainda é produzida pela queima de combustíveis fósseis, Figura 2-3.

A China já é um dos maiores consumidores de energia do mundo. A sua geração de energia elétrica é bastante dependente do carvão mineral, extraído localmente. Por outro lado, verifica-se a busca pela diversificação das fontes, com investimentos em energia eólica, hidroeletricidade e nuclear. A China já está em 5º lugar mundial na geração de energia eólica e é o maior produtor de hidroeletricidade do mundo, com usinas construídas principalmente nas últimas três décadas e que respondiam por apenas 15% do seu consumo em 2007. A maior potência em usinas nucleares em construção no ano de 2007 pertencia à China (BRASIL, 2008). A China, apesar de todos esses esforços, possui

ainda o grande desafio de acompanhar a sua previsão de crescimento de demanda de energia elétrica da ordem de 4,6% ao ano até 2030 (IEA, 2008).

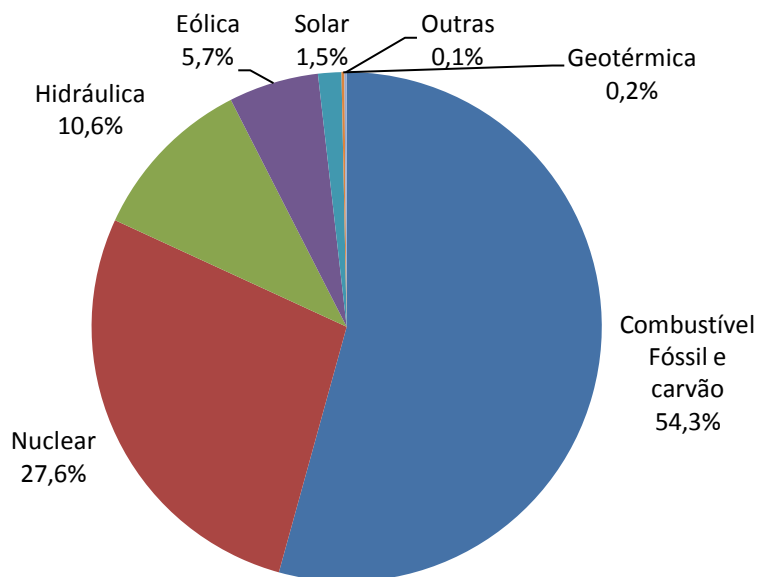


Figura 2-3 - Comunidade Europeia – geração de energia elétrica por fonte- 2011

Fonte: Adaptado EUROPEAN COMMISSION, 2013

A busca de alternativas às energias não renováveis na geração de energia elétrica sofre pressões adicionais, em face de tendências observadas, como a eletrificação da frota de veículos ou o uso de bombas de calor para o aquecimento de residências. Um elemento adicional que deve ser considerado na busca das novas fontes é a forma de adaptar os padrões de consumo e fornecimento. Pelo padrão atual, considera-se a energia como disponível a qualquer hora do dia ou da noite e no mesmo nível de potência, o que traz um desafio adicional para as energias renováveis de maior penetração nos últimos anos: eólica e solar.

As fontes eólica e solar estão sujeitas a variações climáticas ou ciclos, dia e noite. O uso exclusivo dessas fontes demandará condições específicas de projeto, como o excesso de capacidade de produção e o uso de tecnologias de armazenamento, como observado por Budischak et AL. (2013), no estudo que buscou uma configuração para a

geração de energia elétrica exclusivamente com energias renováveis para grande parte da costa Leste dos Estados Unidos. O estudo compreendeu apenas o uso da energia solar e eólica e buscou a melhor composição entre capacidade de geração e armazenamento instalada para a minimização do custo de investimento e operação. A solução envolveu uma combinação de polos geradores distantes geograficamente, tecnologias de armazenamento e uma grande capacidade excedente de geração para compensar a variação característica das fontes renováveis utilizadas no estudo: solar e eólica (BUDISCHAK, 2013).

2.3 O consumo energético de residências

As residências respondem por uma parcela significativa da demanda total de energia de um país. As fontes de energia utilizadas pelas residências variam entre as regiões, segundo fatores climáticos, econômicos, geográficos, culturais e de arquitetura.

Os principais usos da energia em residência são: aquecimento de água, refrigeração, iluminação, condicionamento ambiental e uso de aparelhos eletroeletrônicos. O condicionamento ambiental assume maior importância nas regiões de clima temperado e frio, com o aquecimento nos meses do inverno, e com o ar-condicionado nos meses de verão, em regiões quentes.

No Brasil, as residências consomem 9,8% da energia total do país, mas 23,8% da energia elétrica, sendo o segundo setor em consumo de eletricidade, ficando atrás apenas do setor industrial, com 44,2%. O aumento no consumo de energia elétrica pelas residências é uma tendência que pode ser atribuída a políticas públicas de inclusão social e também ao aumento de renda *per capita*. (EPE, 2011).

Dados do Ministério de Minas e Energia de 2007 apontam que refrigeração e ar condicionado respondem por 37% do consumo de energia elétrica das residências, sendo apenas 3% o consumo para condicionamento ambiental, Figura 2-4 (MME, 2007a).

A Figura 2-5 apresenta a posse média de equipamentos elétricos nas residências e uma projeção para 2030. Os condicionadores de ar, mesmo presentes em uma quantidade relativamente pequena de residências e com utilização concentrada nos meses de verão, representam uma parcela importante do consumo de energia elétrica. Além disso,

há uma previsão de que até 2030 sua presença nas residências deve crescer cerca de 160% (MME, 2007).

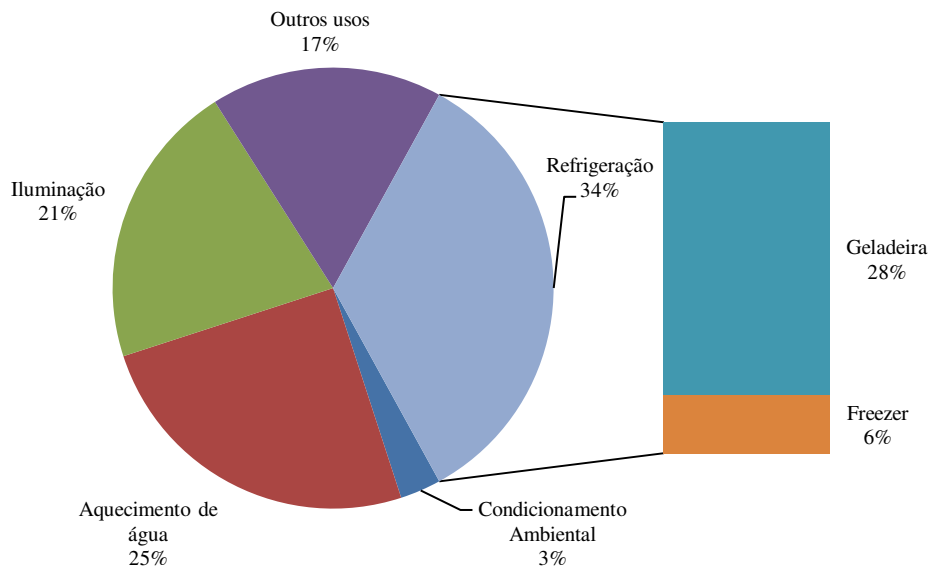


Figura 2-4 - Estrutura do Consumo de Energia Elétrica por uso final. Residências
 Fonte: Adaptado MME, 2007a

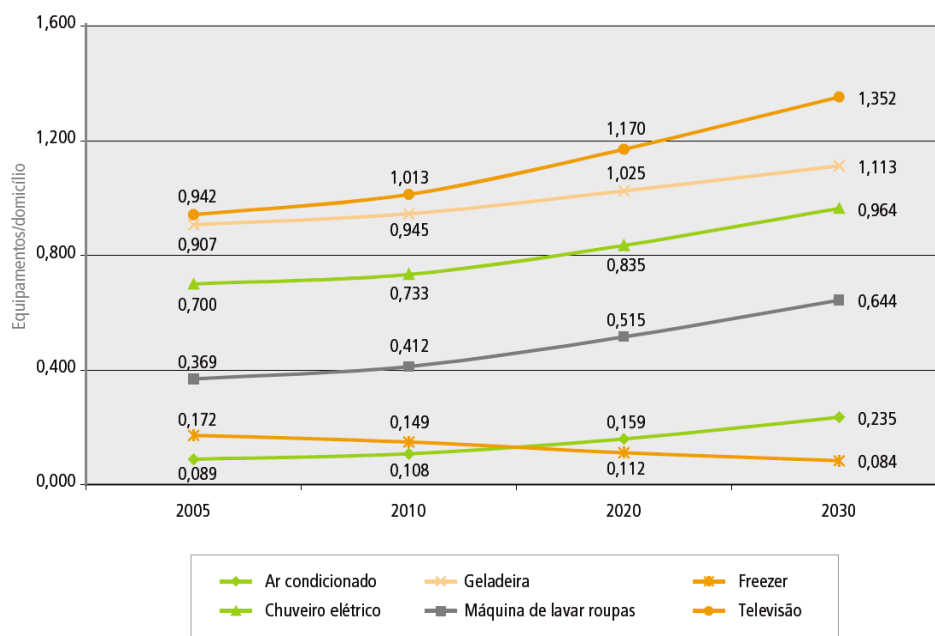


Figura 2-5 - Equipamentos eletrodomésticos por domicílio

Fonte: MME, 2007

Os dados de mercado indicam que essa é uma tendência mundial, considerando, por exemplo, a venda de 82 milhões de equipamentos de ar-condicionado elétricos com potência inferior a 5 kW apenas no ano de 2008 (SOLAIR PROJECT, 2009). O reflexo do crescimento desse uso, no caso da Europa, pode ser percebido pela mudança da época do ano em que o pico de consumo de energia elétrica ocorre, passando dos meses de inverno para os meses de verão (EUROPEAN COMMISSION, 2011).

A Eletrobrás publicou pesquisa sobre a posse de equipamentos e hábitos de uso, na qual identificou um impacto muito maior do condicionamento ambiental no consumo residencial, Figura 2-6. A diferença entre os valores é, provavelmente, um reflexo de diferenças nas metodologias de amostragem e tratamento dos dados. Os dados do estudo elaborado pela Eletrobrás, apesar de pouco atuais, indicam a relevância do condicionamento ambiental em residências com condicionador de ar (ELETROBRÁS, 2007).

Referências indicam a coincidência da incidência da radiação solar com a demanda de arrefecimento como um dos motivos para a adoção de sistemas de condicionamento de ar movidos a energia solar térmica (BALARAS, 2007, IEA, 2011, SOLAIR PROJECT, 2009). Essa afirmação apresenta uma ambiguidade quanto ao período mencionado: do ano ou do dia, e a coincidência pode não ser tão forte quanto o esperado.

O maior potencial de insolação ocorre nos meses de verão, quando as regiões de clima temperado possuem maior período de insolação, mas que pode coincidir com o período de chuvas nas regiões tropicais e, assim, reduz-se a captação da energia solar térmica. A coincidência com a necessidade horária de condicionamento ambiental pode ser especialmente válida para certos mercados e certas utilizações, como nos edifícios comerciais.

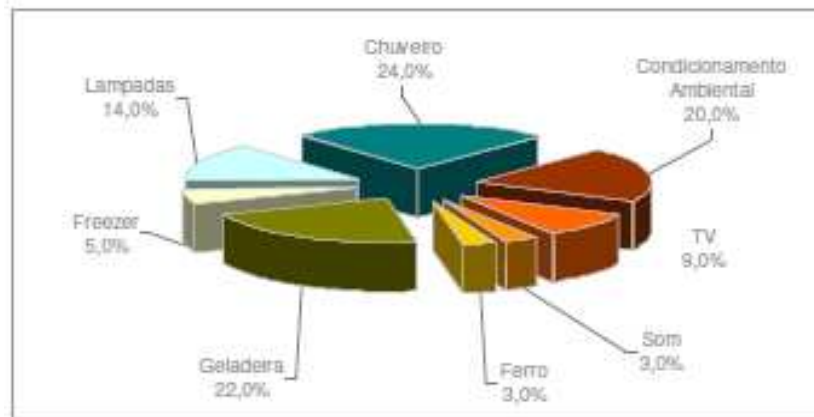


Figura 2-6 - Participação dos eletrodomésticos no consumo residencial.

Fonte: ELETROBRÁS, 2007

Considerando que a maioria das residências permanece fechada durante o dia, a demanda de energia elétrica ocorre principalmente no período noturno. Esse padrão de consumo pode ser observado na Figura 2-7. Os dados apresentados no gráfico, apesar de antigos, ilustram o perfil médio de consumo de energia elétrica das residências no Brasil. O gráfico indica o uso do ar condicionado à noite e durante a madrugada, além do pico de consumo para aquecimento de água, chuveiro elétrico, nas primeiras horas da manhã e no início da noite, uma característica típica do Brasil.

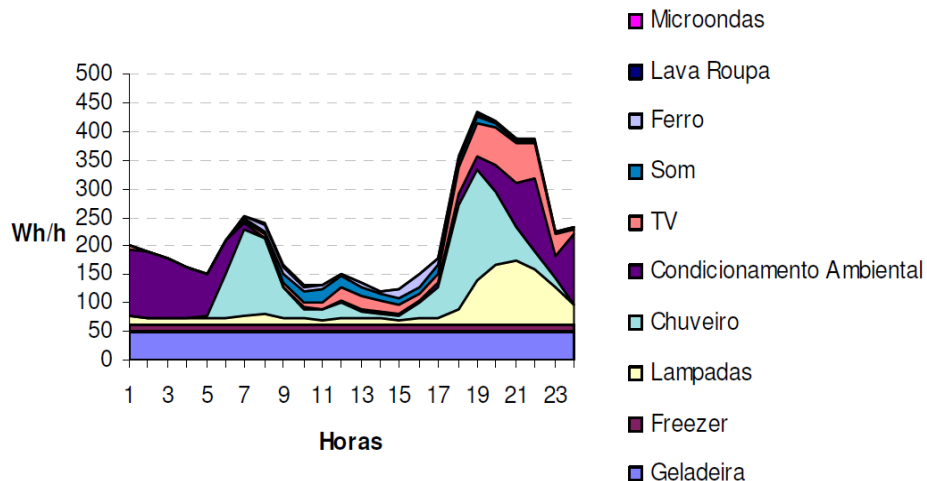


Figura 2-7 - Curva de consumo médio diário - Brasil.

Fonte: ELETROBRÁS, 2007

2.4 A eficiência energética das residências

O consumo energético das construções pode ser reduzido com a aplicação de técnicas de eficiência energética e melhoria dos projetos. As ações de eficiência energética passam por definições de novos padrões e metas de desempenho com força legal.

Dentre as ações que podem melhorar a eficiência das construções está a definição de novos padrões construtivos, seja em materiais, seja em requisitos de desempenho térmico. As construções existentes podem passar por reformas, com a instalação de materiais e sistemas que venham a reduzir seu consumo energético. A integração de sistemas, tais como o de iluminação, ventilação e condicionamento de ar, automação etc., pode desempenhar um papel importante nessa redução, assim como o uso de energias renováveis.

Um exemplo de definição de metas de desempenho foi a introdução de regras específica, pela diretiva 2002/91/CE (EUROPA, 2003), que demanda aos estados membros da comunidade europeia que introduzam mecanismos para melhoria no desempenho energético das construções. O gasto com aquecimento das residências da União Europeia chegou a 86%, em 2007. Essa diretiva gera uma expectativa de redução no consumo de energia para o aquecimento das moradias; por outro lado, existe a previsão de crescimento do consumo para o condicionamento ambiental, movido tradicionalmente a energia elétrica (EUROPEAN COMMISSION, 2011).

2.5 O papel dos sistemas de refrigeração e ar condicionado

A Figura 2-4 e a Figura 2-7 mostram a importância da refrigeração e do ar condicionado no consumo de energia elétrica das residências. Esses equipamentos desempenham funções para a manutenção do estilo de vida atual, com equipamentos capazes de refrigerar, congelar e também condicionar ambientes.

A posse dos condicionadores de ar deve crescer no Brasil, conforme mostra a Figura 2-5. Esse aumento pressionará o fornecimento de energia elétrica. Dessa forma, as possibilidades de uso e associação de energias renováveis geradas localmente podem atuar como fator para reduzir a demanda.

3 SISTEMAS DE AR CONDICIONADO

Refrigerador e ar-condicionado são sistemas que operam um ciclo termodinâmico capaz de gerar um fluxo de calor com sentido inverso ao natural. Conforme a segunda lei da termodinâmica o fluxo de calor ocorre naturalmente de um corpo de maior temperatura para outro de menor temperatura, até que esses corpos atinjam o equilíbrio térmico.

Esses sistemas estão presentes na sociedade moderna, com nomes que remetem à sua função. Os *freezers* (temperatura -15°C a -25°C) e principalmente os refrigeradores (temperatura 10°C) estão presentes na maioria dos lares brasileiros. Outro eletrodoméstico bastante conhecido é o aparelho de condicionamento de ar (temperatura 15°C), utilizado com o objetivo de propiciar conforto térmico e com uma tendência de aumento de sua posse nos lares brasileiros.

A temperatura, como uma medida do nível de energia térmica, é o parâmetro utilizado para prever o sentido do fluxo da energia sob a forma de calor. Para que ocorra o fluxo de energia térmica de um corpo com temperatura mais baixa, chamado de fonte fria, para um corpo com temperatura mais alta, fonte quente, utiliza-se um ciclo termodinâmico que opera sob a realização de trabalho e gera uma temperatura mais baixa que a fonte fria para a retirada do calor e rejeita esse calor a uma temperatura superior a da fonte quente.

O mesmo ciclo termodinâmico pode ser utilizado para acelerar o fluxo de calor entre uma fonte quente e uma fonte fria, como o aquecimento de ambientes (temperatura 26°C), piscinas (temperatura 35°C) ou ainda para água quente sanitária (temperatura 50°C a 60°C). Apenas os equipamentos para aquecimento de água são conhecidos no mercado brasileiro pela denominação bomba de calor.

Os sistemas de refrigeração recebem trabalho para executar um ciclo para retirar o calor de um meio, chamado de fonte fria, e rejeitar em outro meio, chamado de fonte quente. Esse ciclo genérico pode ocorrer com diversas configurações e tecnologias, sendo projetado em função das necessidades e condições de operação.

A principal tecnologia utilizada atualmente é o ciclo de compressão de vapor, no qual a energia mecânica de, por exemplo, um motor elétrico ou a combustão interna é transmitida para um compressor que origina o ciclo. Outras tecnologias e ciclos são capazes de realizar a mesma função utilizando, porém, uma fonte com energia térmica superior ao ambiente que receberá a energia rejeitada como força motriz.

O desempenho desses sistemas é avaliado pelo seu Coeficiente de Eficiência Energética, CEE, ou pelo COP – Coeficiente de Desempenho – do termo *Coefficient Of Performance*, em inglês. Esse coeficiente avalia a quantidade de energia retirada do ambiente em função da energia gasta pelo sistema.

Segundo descrito no anexo de revisão termodinâmica e aplicado a refrigeradores, o coeficiente de desempenho ideal para os ciclos operando entre duas fontes é uma função das temperaturas das fontes quente (T_H) e fria (T_C).

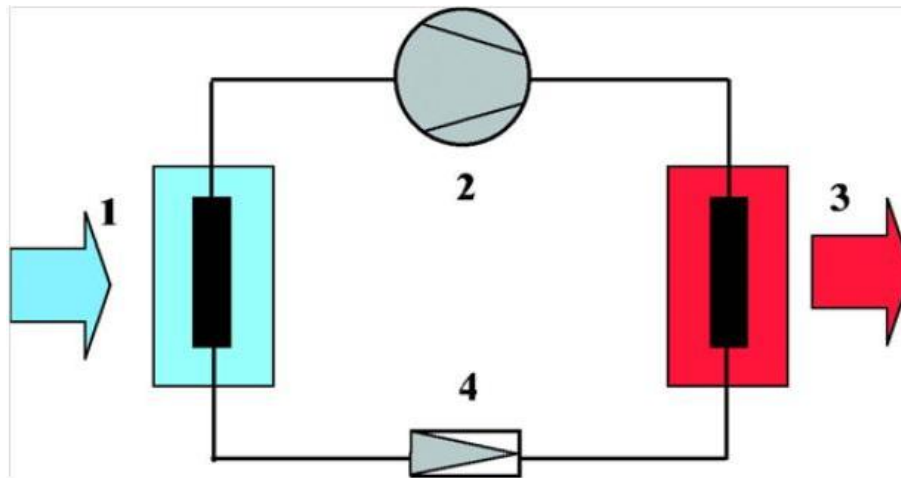
$$COP_{ideal} = \frac{T_C}{T_H - T_C} \quad (1)$$

Conforme o Programa Brasileiro de Etiquetagem, os aparelhos elétricos de ar-condicionado devem possuir um coeficiente de eficiência energética, CEE, acima de 3,2 para obter a melhor classificação (BRASIL, 2011). As bombas de calor para aquecimento de piscina, por operarem em condições ligeiramente diferentes, podem atingir CEE na ordem de 5,0 a 6,0 (INDÚSTRIAS TOSI, 2012).

3.1 Ciclo de compressão de vapor

O ciclo de compressão de vapor consiste em quatro etapas e pode ser genericamente representado pela Figura 3-1. Um compressor (2) faz a compressão e movimentação do fluido refrigerante. O gás comprimido e aquecido passa por um trocador de calor, chamado condensador (3), onde ocorre o resfriamento e a condensação do gás com a dissipação do calor para a fonte quente. O refrigerante, agora na fase líquida, passa por uma válvula de expansão (4). Após a expansão, o fluido refrigerante tem a pressão e temperatura reduzidas e, normalmente, um fluxo misto de gás e líquido que passará por

outro trocador de calor, chamado de evaporador (1), onde ocorrerá a evaporação do refrigerante. A evaporação retira a energia, sob a forma de calor, da chamada fonte fria e retorna ao compressor fechando o ciclo.



(1) Fonte Fria/ Evaporador; (2) Compressor;
(3) Fonte Quente / Condensador; (4) Válvula de Expansão

Figura 3-1 – Ciclo de compressão de vapor

Fonte: Hepbasli, 2008

Atualmente existem no mercado diversos tipos de refrigerantes sintéticos, com características termodinâmicas que buscam maximizar o rendimento do sistema em determinadas condições de operação. Esses refrigerantes sintéticos geralmente são eficientes, porém muitos possuem alto potencial de efeito estufa e estão em processo de substituição; foram banidos pela sua associação à destruição da camada de ozônio. Recentemente, percebe-se um interesse crescente pelo uso de fluidos refrigerantes naturais, com menor potencial de efeito estufa e que não afetem a camada de ozônio (AUSTIN, 2011).

Os projetos dos sistemas de refrigeração variam em função de sua finalidade e forma de retirada e rejeito do calor. Os projetos residenciais apresentam, em sua grande maioria, a retirada e rejeito do calor diretamente para o ar. O ar do ambiente a ser condicionado é forçado a circular pelo evaporador, reduzindo a sua temperatura. O calor

é rejeitado no condensador, localizado no lado externo, pelo fluxo forçado do ar externo, aumentando a sua temperatura. O calor também pode ser retirado, ou rejeitado, utilizando um fluido de transporte, normalmente água, em um circuito secundário.

Essas configurações buscam ganhos de eficiência ou facilidade de projeto, como a concentração dos equipamentos. O calor é retirado do ambiente por um trocador de calor localizado no ambiente ou em tubulação presente dentro do teto onde circula água gelada. O rejeito do calor ocorre em outro circuito, no qual o calor do condensador é rejeitado para um circuito onde circula água que o dissipa no ambiente, em uma torre de resfriamento ou em um trocador de calor geotérmico, ou enterrado.

A bomba de calor geotérmica vem ganhando atenção especial. O rejeito, ou retirada, de calor é realizado no solo, com o uso de trocadores de calor enterrados a profundidades normalmente entre 3m e 300m. A maioria dos sistemas geotérmicos é projetada com ciclos indiretos, porém existem sistemas em que o fluido refrigerante circula pelo trocador de calor enterrado.

Os sistemas geotérmicos possuem a vantagem de operar em temperaturas médias, a temperatura do solo em dias quentes de verão é mais baixa que o ar e mais amena nos dias frios de inverno. Essa redução na temperatura de condensação ou aumento na temperatura de evaporação, possui efeito direto no desempenho e eficiência do sistema. A sua utilização mais frequente é para aquecimento durante os meses frios de inverno, com COP típico de 4 (MAGRANER, 2010, BLUM, 2010, OMER, 2008). A Figura 3-2 apresenta um desenho esquemático de um sistema geotérmico para aquecimento de água acoplado a condicionamento ou aquecimento de ar.

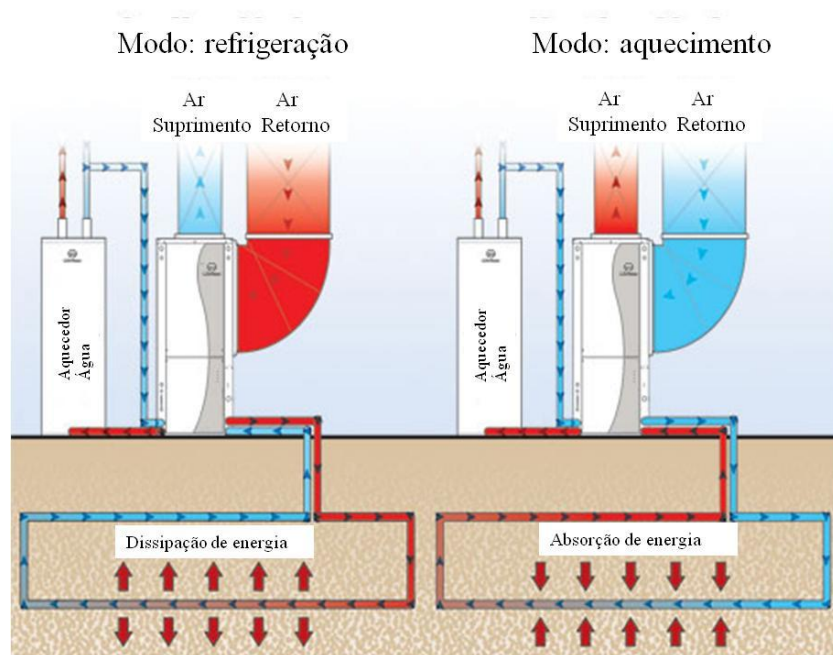


Figura 3-2 - Esquema de sistema geotérmico de dupla função

Fonte: Adaptado de WATER FURNACE, 2013

Algumas peças de publicidade e até publicações associam o aquecimento com bombas de calor a uma energia renovável para o aquecimento (STIEBEL ELTRON, 2012). A base para essa afirmação é o fato de esses sistemas retirarem mais energia do ar, ou do solo, do que a energia elétrica consumida pelo sistema. Essa afirmação pode fazer sentido, mas apenas para o aquecimento. Ela deixa de ser verdadeira para os sistemas de ar-condicionado.

3.2 Ciclo de Absorção

Os ciclos de refrigeração por absorção operam utilizando uma fonte de calor com temperatura superior à temperatura do ambiente onde o calor será rejeitado. O sistema possui dois componentes, chamados absorvente e refrigerante. Os pares mais comuns de absorvente e refrigerante são brometo de lítio/ água, utilizados para aplicações de refrigeração com temperatura moderada, como ar-condicionado, e amônia/ água, utilizado para aplicações que necessitem de temperaturas mais baixas. O sistema com um

único estágio, ou também chamado de efeito simples, opera com quatro unidades básicas, Figura 3-3 (KARAMANGIL, 2010).

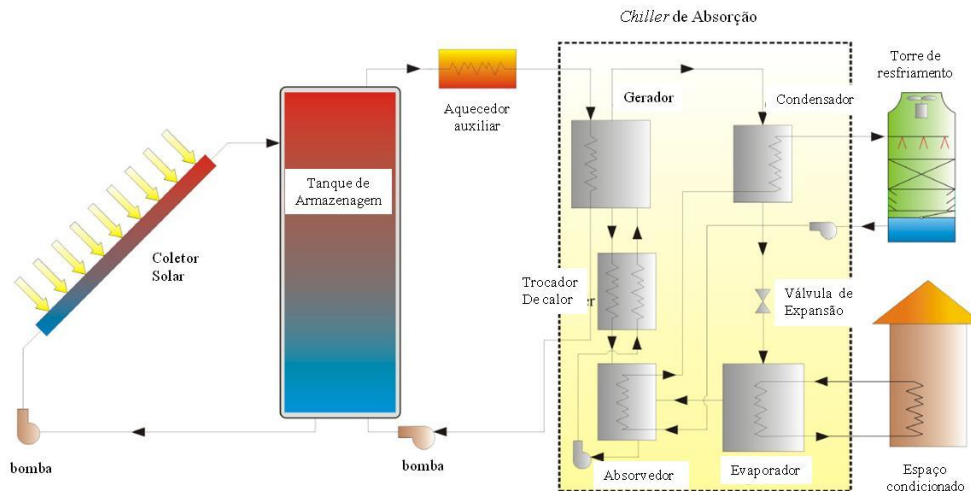


Figura 3-3 - Ciclo de Absorção de um estágio.

Fonte: Adaptado VIDAL, 2009

Esse ciclo opera com três fontes de calor. Uma fonte fria, de onde o calor é retirado, uma fonte intermediária, onde o calor é rejeitado, e uma fonte quente, que proporciona a separação do par refrigerante/absorvente, iniciando o ciclo. O compressor é substituído por um absorvedor, uma bomba de solução e um gerador. Um evaporador e um condensador completam o ciclo termodinâmico. Considerando um sistema que opera com $H_2O/LiBr$, o ciclo termodinâmico opera como descrito a seguir.

No gerador, a solução de água com brometo de lítio é bombeada e aquecida com o calor recebido da fonte quente. A água é evaporada e flui até o condensador. A solução de brometo de lítio, agora concentrada, flui para a câmara de absorção. O vapor de água segue para o condensador, onde o calor de condensação é retirado pela fonte intermediária, condensando o refrigerante (água). A água é conduzida, então, para o evaporador por um tubo onde ocorre a redução de pressão e temperatura. O refrigerante, água, é bombeado e pulverizado no evaporador a baixa pressão sobre um feixe trocador de calor no qual ocorre a sua evaporação, removendo o calor e reduzindo a temperatura da água gelada, ou fonte fria. O vapor de água, refrigerante, segue para o

absorvedor, onde a solução concentrada de brometo de lítio o absorverá. Esse processo de absorção com condensação do refrigerante aumenta a temperatura da solução, que é refrigerada utilizando a água da fonte intermediária, água de resfriamento. A solução de brometo de lítio, agora diluída, é novamente bombeada para o gerador, fechando o ciclo.

O coeficiente de desempenho (COP) ideal desses sistemas, como descrito no anexo de revisão termodinâmica, depende das temperaturas das três fontes de calor: temperatura da fonte calor motriz (T_H), temperatura da fonte fria (T_C) e a temperatura do rejeito de calor, (T_A), como apresentado na equação 2.

$$COP_{ideal} = \frac{T_C}{T_H} * \left(\frac{T_H - T_A}{T_A - T_C} \right) \quad (2)$$

A temperatura da fonte quente possui uma relação linear com o COP ideal, enquanto a diferença entre as temperaturas do ambiente (rejeito de calor) e da fonte fria possuem uma relação exponencial.

A temperatura típica requerida por esse tipo de sistema é superior a 85°C, o que possibilita o uso de coletor solar de placas planas, e um COP térmico típico de 0,6 a 0,8. Alguns modelos com baixa potência estão disponíveis no mercado. Uma variação desse ciclo, chamado de ciclo de duplo efeito, tem o gerador dividido em dois estágios. Esses sistemas, apesar do aumento da complexidade, conseguem operar com maior eficiência (SOLAIR, 2009).

Os modelos mais comuns no mercado possuem potência mais elevada, operam com ciclo de duplo efeito e uma fonte quente acima dos 140°C. Esses sistemas, operando nessas condições, tais sistemas conseguem atingir COP maior que 1, como pode se ver na Figura 3-4. Essas condições sugerem a aplicação com o uso de rejeito de calor industrial, como, por exemplo, gases de processo ou sistemas de cogeração (GROSSMAN, 2002).

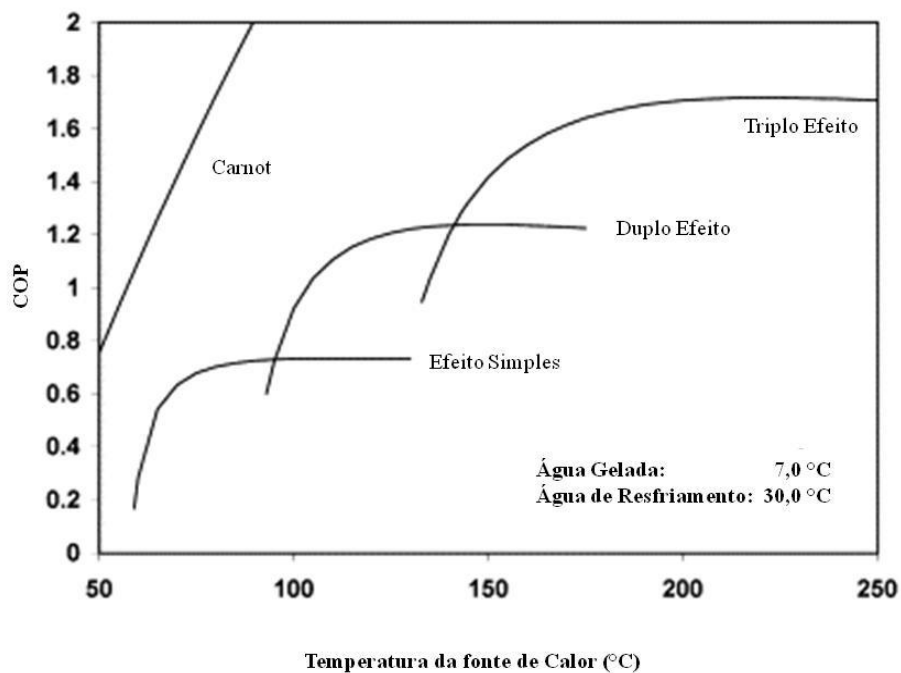


Figura 3-4 - Temperatura da fonte quente e COP

Fonte: Adaptado de GROSSMAN, 2002

3.3 Ciclo de Adsorção

As bombas de calor que operam o ciclo de adsorção possuem um evaporador, um condensador e duas ou mais câmaras de adsorção. Todos esses compartimentos operaram em condição de alto vácuo. As câmaras de adsorção operam em ciclos alternados de adsorção e regeneração, ou dessorção. O princípio de funcionamento pode-se ver no esquema da Figura 3-5.

As câmaras de adsorção são compostas de um leito adsorvente, normalmente sílica gel ou zeólita. A característica desse sistema indica uma operação intermitente, ou em ciclos. Na primeira fase, a câmara 1 é regenerada com o uso de energia, preferencialmente renovável. Esse aquecimento faz com que a água adsorvida pelo leito seja evaporada. Esse vapor sobe até o condensador, onde o calor é rejeitado e o vapor d'água é condensado. A água condensada é recirculada em circuito fechado para a base do sistema, o evaporador, para ser reutilizada.

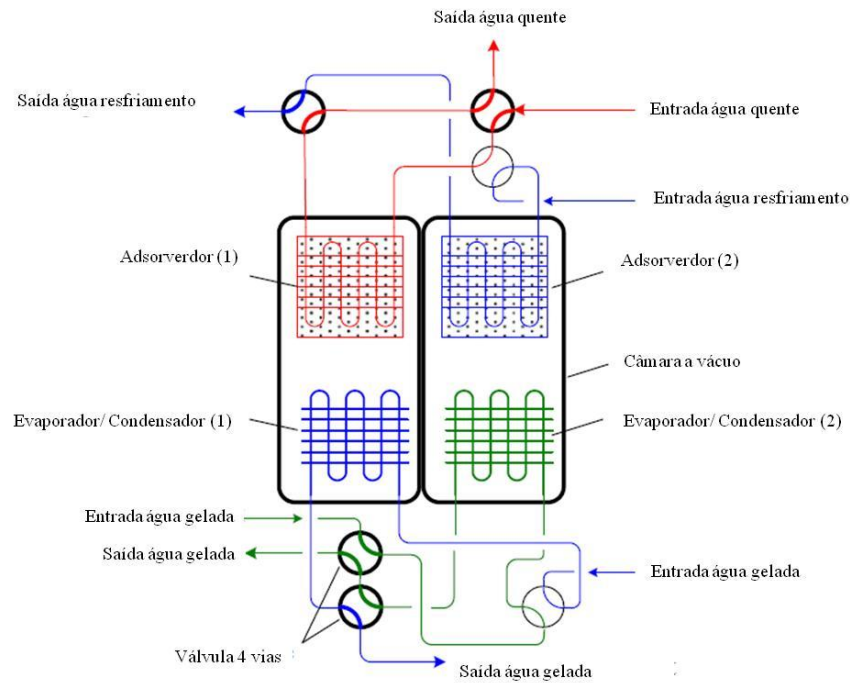


Figura 3-5 - Esquema ciclo de Adsorção

Fonte: Adaptado CHANG, 2009

Durante o processo de regeneração do leito 1, o leito da câmara 2 adsorve a umidade, favorecendo a evaporação da água recirculada no evaporador. Essa evaporação, também em função da baixa pressão da câmara, resfria o trocador de calor, por onde passa água gelada, que será utilizada no condicionamento de ambiente. Durante o processo de adsorção há a liberação de calor, motivo pelo qual o leito deve ser refrigerado com água de resfriamento para aumentar a eficiência da adsorção. Após certo grau de saturação é realizada a troca da função das câmaras (DEMIR, 2008).

O processo de troca dos leitos envolve a inversão de uma série de válvulas e equalizações de temperaturas e pressão. O leito que operava em regeneração deve ser resfriado continuamente para, num primeiro momento, reduzir a temperatura de regeneração e prosseguir para a retirada do calor gerado pelo processo de adsorção. Durante esse processo, o outro leito é aquecido para a regeneração e liberação da água adsorvida.

O cálculo do COP ideal do sistema de adsorção é o mesmo do sistema de absorção (equação 21 do Anexo A). Esses sistemas possuem um COP típico de 0,5 a 0,6 e podem operar com temperaturas tão baixas quanto 60°C (SOLAIR-PROJECT, 2009).

3.4 Ciclo Aberto ou Dissecante

Os sistemas de ciclo aberto são caracterizados pelo condicionamento direto do ar, movimentando-o de forma intensiva e, para o caso dos dissecantes sólidos, há uma alta taxa de renovação do ar interior. O efeito de refrigeração é obtido pela “manipulação” das cargas de calor sensível e latente do ar.

O exemplo de configuração mais simples do sistema de ciclo aberto é o condicionador de ar evaporativo. Esses equipamentos geram o efeito de redução da temperatura do ar pela evaporação da água e aumento da umidade relativa, sendo especialmente úteis e eficientes em locais de clima quente e seco, condições que permitem diminuir a temperatura com o aumento na umidade.

Nas regiões com umidade relativa mais alta são necessários ciclos mais elaborados, como descritos por Kim (2008). O ciclo utilizando solução dissecante líquida obtém efeito de resfriamento pela retirada da umidade e, conseqüentemente, do seu calor latente (Figura 3-6). A solução é bombeada para o regenerador onde passa por uma fonte de calor e elimina a umidade absorvida. A solução é, então, recirculada para continuar o ciclo.

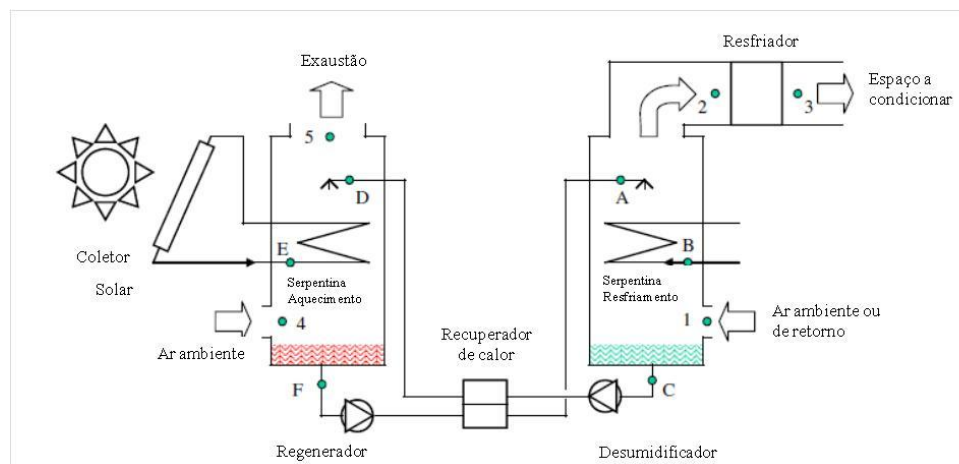


Figura 3-6 - Ciclo aberto com dissecante líquido

Fonte: Adaptado de KIM, 2008

Os sistemas de ciclo aberto com dissecante sólido possuem uma construção e forma de operação muito diferentes. A Figura 3-7 mostra as etapas de um sistema de ciclo aberto com dissecante sólido associado à energia solar térmica. O sistema possui duas rodas giratórias e diversos componentes nos fluxos de ar de suprimento e retorno ao espaço que se deseja condicionar.

O ar de retorno passa por um condicionador evaporativo seguindo para uma roda de troca de calor com temperatura reduzida (A/B). Ele refrigera o segmento do trocador de calor que passa pelo segmento (B/C). Esse ar, agora úmido é aquecido pela fonte quente, por exemplo, água quente de aquecimento solar, no trocador (C/D). Esse ar, aquecido e úmido, regenera a roda dissecante e é rejeitado para o ambiente (D/E).

Do outro lado, ar do ambiente externo passa pela roda dissecante, agora regenerada (1/2). O ar quente e seco sai da roda dissecante, como resultado da desumidificação. Esse ar é resfriado pela roda de troca térmica (2/3). Dependendo do nível de temperatura, ele pode ser suprido diretamente ao espaço a condicionar, ou resfriado no *aftercooler*, que em algumas configurações pode ser um sistema evaporativo.

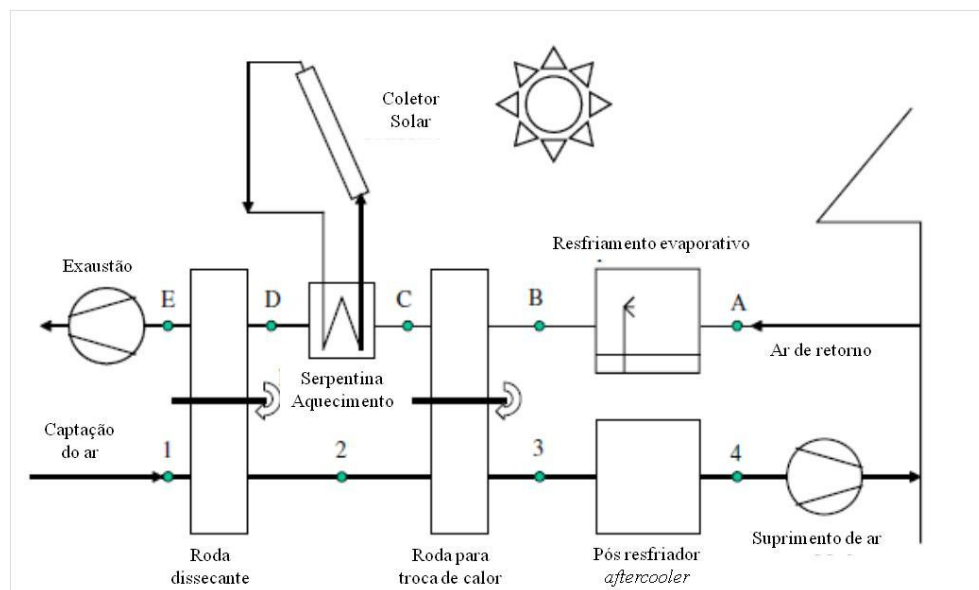


Figura 3-7 - Ciclo aberto com dissecante sólido.

Fonte: Adaptado de KIM, 2008

O coeficiente de desempenho desses sistemas é, teoricamente, similar aos dos sistemas de adsorção, sendo reportado por alguns autores valores da ordem de 0,7. A variação nas condições de uso dificulta a avaliação de desempenho e comparação dos sistemas (KIM, 2008).

O sistema evaporativo possui melhor desempenho em clima quente e seco, enquanto o sistema de dissecante líquido ou sólido pode ser utilizado em clima quente e úmido.

3.5 Associação das energias renováveis

As possibilidades de integração das energias renováveis produzidas localmente aos ciclos descritos dependem de características específicas e estão concentradas no fornecimento de energia térmica, elétrica ou trabalho.

Os ciclos de absorção, adsorção e dissecante são movidos principalmente pela energia térmica, mas ainda necessitam de energia elétrica para o funcionamento de alguns componentes, como válvulas, bombas e ventiladores. Dessa forma, esses ciclos são naturalmente associados à energia solar térmica ou à energia térmica de biomassa. Esses sistemas podem ser operados com fontes de calor a temperaturas facilmente obtidas com coletores solar desenvolvidos para a produção de água quente sanitária, apesar de sua eficiência mais baixa.

A associação dos ciclos movidos termicamente a rejeitos de calor, ou sistemas de cogeração, é tecnicamente viável e constitui uma real oportunidade de aproveitamento energético para reduzir o consumo das construções. Como os sistemas de cogeração são mais comuns aos grandes consumidores e movidos principalmente com combustíveis fósseis, essa associação não será considerada neste trabalho.

O ciclo de compressão de vapor, por sua vez, pode ser associado a motores movidos a biocombustível ou a geração local de energia elétrica renovável, como a solar fotovoltaica ou eólica.

As bombas de calor com trocador de calor geotérmico de baixa profundidade serão vistas neste trabalho como uma configuração especial do ciclo de compressão de vapor, por considerar que fontes geotérmicas de alta temperatura para

geração de energia são pouco comuns e não aparecem como alternativa de aproveitamento energético residencial.

Outras tecnologias para bombeamento de calor e produção de “frio” são conhecidas, tais como ciclos Stirling, refrigeração magnética e refrigeração termoelétrica. Essas tecnologias, apesar de tecnicamente viáveis, possuem utilizações específicas e um número ainda menor de testes reais em construções foram realizados. Assim, essas tecnologias não foram consideradas inicialmente na elaboração do questionário e na avaliação da sinergia com as energias renováveis.

4 PREVISÃO TECNOLÓGICA

A previsão tecnológica é um processo contínuo que ocorre de forma integrada ao processo de gestão das organizações públicas e privadas. O ciclo de previsão tecnológica pode ser descrito simplificada pela Figura 4-1, sendo executado com o uso de técnicas e ferramentas específicas para cada etapa. O uso de mais de uma metodologia é recomendável, conduzindo o processo de forma cíclica e cumulativa, confirmando os resultados, aprendendo com eles ou construindo sobre as saídas de uma determinada técnica.

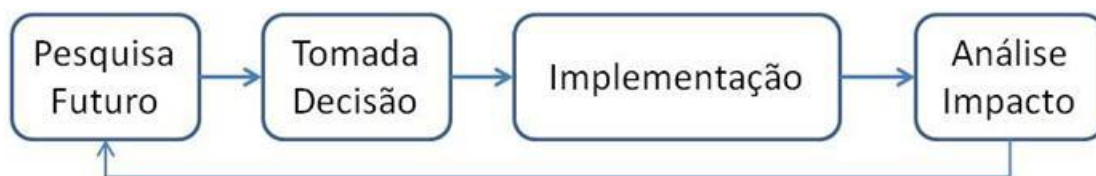


Figura 4-1 – Ciclo de previsão tecnológica.

Fonte: GLENN, 2009

O interesse e a forma de abordar a previsão tecnológica são diferentes para governos e iniciativa privada. Isso pode ser observado pelas diferentes denominações encontradas na literatura, sendo que as três principais, no idioma inglês, são: *Technological Foresight*, *Technological Forecasting* e *Technological Assessment*. De forma análoga, os termos similares podem ser encontrados em português: Prospecção Tecnológica, Previsão Tecnológica e Avaliação Tecnológica. As definições podem ser encontradas em publicações como Santos (2004) e Porter (2004) que são descritas a seguir:

- *Technological Foresight*: é a previsão de desenvolvimentos tecnológicos futuros e suas interações com a sociedade e o ambiente, de forma a promover ações que irão direcionar o rumo dos desenvolvimentos. Essas avaliações contêm, em geral, elementos de tendências sociais e geopolíticas.
- *Technological Forecasting*: é um processo sistemático para descrever ou prever a situação de uma tecnologia atual ou emergente em um determinado tempo no futuro, com seus impactos, desempenho e características.

- *Technological Assessment*: é a avaliação realizada com o objetivo principal de determinar os impactos da tecnologia para a sociedade ou o país.

Os governos utilizam ferramentas para monitorar e prever as grandes tendências políticas, econômicas, sociais e tecnológicas nas esferas nacional e global. Dessa forma, ao planejar suas estratégias, podem avaliar o impacto de novas tecnologias, realizando o *technological assessment*, e influenciar os seus caminhos, *technological foresight*.

Os rumos tecnológicos planejados pelos governos podem ser percebidos pelo mercado na concentração de recursos para pesquisa e desenvolvimento distribuídos, normalmente, por intermédio de agências e constituem matérias relevantes e com alto retorno para o país e a sociedade, porém não necessariamente com atratividade comercial para ser financiado pelo setor privado (KLERR, 2010).

A iniciativa privada considera em seu planejamento futuro as forças competitivas do mercado em que atuam – concorrência, clientes, fornecedores, barreiras de entrada, produtos substitutos – e as tendências macroeconômicas nas esferas política, econômica, social e tecnológica (PORTER, 1999). As empresas avaliam também as suas competências, identificando suas forças e fraquezas. Essas avaliações e estudos são elaborados no planejamento estratégico e buscam fundamentar suas decisões, sempre que possível, de forma objetiva e quantitativa, baseado-as em dados, modelos e cenários.

O cruzamento das oportunidades e ameaças do ambiente externo com as suas forças e fraquezas gera uma matriz conhecida pela sigla em Inglês SWOT – *Strength, Weakness, Opportunities e Threats*. A previsão tecnológica está presente no processo de planejamento estratégico, na previsão de inovações e produtos substitutos em que as técnicas de *Technological Forecasting* podem ser utilizadas para o direcionamento de esforços e investimentos em pesquisa ou aquisição de novas tecnologias (SANTOS, 2004; NEMET, 2009).

O monitoramento do desempenho da concorrência, do mercado e da organização é realizado continuamente. Ao avaliarem os resultados no curto prazo, planejam ou revisam as estratégias de médio e longo prazo. O tempo considerado de médio e longo prazo para o horizonte de planejamento difere entre os setores da economia e está

relacionados às características específicas do mercado em que atuam. Um horizonte de planejamento de 40 anos representa um ciclo de investimento em infraestrutura, como empresas de geração e distribuição de energia, porém três ciclos de investimento e renovação de bens como automóveis ou um número muito maior para outros mercados, como, por exemplo o de vestuário.

Jones (1986) identifica quatro dimensões da previsão tecnológica: qualitativa, quantitativa, temporal e probabilística. A dimensão qualitativa identifica a tecnologia e as premissas envolvidas na previsão. A quantitativa envolve dados e quantidades. A temporal indica quando essas previsões qualitativa e quantitativa devem se concretizar, enquanto a probabilística avalia o nível de segurança da previsão e corresponde ao componente com maior grau de dificuldade em ser estimado.

As referências apontam para a disponibilidade de diversas técnicas para realizar uma previsão tecnológica. Cada metodologia possui um campo de utilização ótimo, limitações, imperfeições e um nível de confiança associado aos seus resultados. Diversas publicações, como por exemplo, Santos (2004) e Porter (2004), Jones (1986), Glenn (2009), trazem resumos e listas de métodos e técnicas utilizadas na análise de tecnologias futuras, sendo que um processo de análise de médio e longo prazo normalmente estará baseado em mais de uma técnica (SANTOS, 2004).

Algumas metodologias foram desenvolvidas especificamente para análise de tecnologias futuras, podendo ser utilizadas em outras áreas do conhecimento, enquanto outras foram desenvolvidas para outras finalidades ou objetivos e podem ser utilizadas na previsão tecnológica.

As ferramentas para análise de tecnologias futuras, ou *Technological Future Analysis* – TFA, são definidas por Santos (2004) como:

“Processos sistemáticos de analisar e produzir julgamentos sobre características tecnológicas emergentes, rotas de desenvolvimento e impactos potenciais no futuro encontram-se, atualmente, inseridos no conceito de *Technology Future Analysis* (TFA), conceito esse que incorpora uma grande variedade de métodos de prospecção tecnológica. Nesse sentido, TFA busca integrar conceitos de *Technological Foresight*, *assessment studies*, predominantes no setor público e *Technology Forecasting* e *intelligence*, mais ligados a demandas do setor privado.”

Segundo Porter (2004), essas ferramentas podem ser divididas em famílias e classificadas quanto ao uso de dados e visão de futuro. O uso de dados classifica as metodologias como *hard* ou *soft*. As metodologias *hard* trabalham com os dados e são utilizadas para analisar ou extrapolar tendências. As metodologias *soft* trabalham com conhecimentos tácitos, criatividade, sensibilidade e julgamentos. Enquanto as técnicas *hard* dependem da qualidade dos dados e da adequação do modelo, as metodologias *soft* têm como fator crítico para o seu desempenho os participantes e o processo.

As técnicas baseadas em conhecimentos subjetivos, *soft*, tendem a ser menos aceitas nos processos de tomada de decisão, quando comparadas às técnicas quantitativas, *hard*, ainda que os resultados quantitativos estejam sujeitos a grande incerteza pela quantidade e qualidade de dados ou por utilizar modelos demasiadamente simplificados. De fato, os resultados de metodologias objetivas bem executadas e definidas tendem a ser mais corretos que os julgamentos subjetivos. Por isso, obter dados e modelos adequados e confiáveis são condições desejadas.

A forma como as metodologias definem o futuro as classificam como normativas ou exploratórias. As metodologias normativas são executadas com uma nítida percepção do futuro enquanto as exploratórias fazem a extrapolação do futuro, a partir das capacidades tecnológicas atuais e futuras. Essas classificações gerais não são definitivas, algumas metodologias podem ser utilizadas de forma normativa ou exploratória, *hard* ou *soft*.

As nove famílias de metodologias listadas por Porter (2004) e alguns exemplos de metodologias com essas características, são listados a seguir:

- Criatividade;
 - *Brainstorming*
 - *Workshops* de criatividade
 - *Vision Generation*

- Descritiva e Matrizes;
 - Analogias
 - Análises de mitigação
 - Árvores de relevância
 - *Roadmapping*
 - Análise de risco
 - Análise de sustentabilidade (análise do ciclo de vida)
 - *Checklist* para identificação de impacto

- Estatística;
 - Análises de correlação
 - Demografia
 - Análises de risco
 - Bibliometria

- Opinião de Especialistas;
 - Delphi (pesquisa interativa)
 - Entrevistas
 - Painéis e *Workshops*

- Monitoramento e Inteligência;
 - Bibliometria
 - Monitoramento (ambiente e tecnologias)

- Modelagem e Simulação
 - Análise de impacto cruzado
 - Simulação de cenários
 - Substituição tecnológica
 - Modelagem baseada em economia

- Cenários;
 - Cenários
 - Simulação de cenários
 - *Field Anomaly Relaxation*
- Análise de Tendências;
 - Extrapolação de tendências
 - *Long wave analysis*
 - *Precursor analysis*
- Avaliação e Decisão.
 - Análise de custo e benefício
 - Análise de requisitos
 - Processo de análise hierárquica
 - Análise de decisão

A classificação por famílias não é rígida, sendo que algumas metodologias foram classificadas pelos autores em mais de uma família.

4.1 Brainstorming

O *Brainstorming* é uma técnica criada na década de 1940 na busca de soluções criativas para um problema de marketing. Atualmente, essa técnica encontra vasta aplicação, sendo utilizada quando a busca de ideias e soluções criativas é necessária, ou como ferramenta auxiliar em que novas ideias são necessárias. A essência do processo está em gerar o máximo número de ideias e soluções possível para um determinado problema, as críticas ao longo do processo são proibidas (INFINITE INNOVATIONS, 2012).

4.2 Cenários

Cenários descrevem uma situação futura e o conjunto de eventos que permitirão evoluir da situação original para a situação futura (SANTOS, 2004). A proposta

da metodologia é explorar, criar e testar alternativas consistentes de futuro que se consideram plausíveis. Em geral, dois a três cenários, ou caminhos possíveis, são considerados.

Os cenários auxiliam a construção da visão qualitativa de futuro, geram elementos para o levantamento de dados, enquanto as estimativas quantitativas possuem probabilidades de ocorrência associadas. As estimativas consideram, normalmente, as séries históricas e podem traçar paralelos com mercados e tecnologias similares. Segundo alguns autores, a avaliação quantitativa e projeção não seriam adequadamente classificadas como cenários, mas sim projeções (GLENN, 2009)

4.3 Roadmaps

O *Roadmap* é uma ferramenta muito utilizada pelos governos, e também utilizada por empresas. Conforme Santos (2004), “O *Technology Roadmapping* provê uma forma de desenvolver, organizar e apresentar a informação sobre sistemas críticos requeridos e os níveis de desempenho que devem ser atingidos em determinado horizonte de tempo”.

Um exemplo de *roadmap* tecnológico pode ser encontrado em IEA, 2011 *Technology Roadmap: Energy-efficient Buildings: Heating and Cooling Equipment*. Nessa publicação são traçadas a situação atual dos sistemas de aquecimento e refrigeração movidos por energia térmica, a visão de futuro e as melhorias necessárias à tecnologia, a serem obtidas pelos sistemas e os prazos previstos, além de propostas de mudanças no aspecto regulatório.

4.4 Modelagem Estatística e Curva S

A modelagem estatística engloba uma série de técnicas que utilizam métodos numéricos e estatísticos para previsões ou projeções baseadas em análise de dados históricos, através de correlações matemáticas que consideram a influência dos fatores relevantes para a qualidade dos resultados.

Cada processo de previsão envolve um número de variáveis que são individualmente estimadas com base em modelo próprio e valores associados a um

intervalo de confiança. Quanto maior a complexidade do modelo, maior será o número de fatores que influenciam o resultado, aumentando a sua incerteza combinada. Essas metodologias assumem, em geral, a manutenção da importância desses fatores no futuro (GLENN, 2009).

Um dos modelos utilizados é a curva “S”, também chamada de curva logística. Esse modelo descreve muitos fenômenos naturais e também tem sido utilizado para descrever processos de evolução tecnológica. A base da modelagem é o princípio da disponibilidade e limitação de recursos para o crescimento, condição presente em todos os processos. A adoção de um novo produto corresponde a uma introdução lenta, descrita pelo início da curva, também chamada de adoção prematura, seguida por um crescimento acentuado e por uma queda no ritmo de crescimento à medida que novos produtos ou modelos são lançados. Processos similares ocorrem para o desenvolvimento e desempenho de tecnologias ou em processos biológicos (SANTOS, 2004; KUCHARAVY, 2007).

O desdobramento da curva S é a curva envelope, que corresponde a uma sequência de evoluções da tecnologia. A aplicação da curva envelope para planejamento tecnológico de longo prazo começou a se tornar popular na década de 1950 e ainda possui aplicações nos dias atuais, apesar de estar mais presente nos livros que em periódicos (GLENN, 2009).

O processo de planejamento estratégico necessita prever o tempo e as condições para a substituição tecnológica. Uma “curva envelope” tradicional é formada de uma sequência de tecnologias, na qual a nova tecnologia inicia com um desempenho inferior à tecnologia existente, ultrapassando seu desempenho e vindo a substituí-la, como demonstrado na Figura 4-2. O histórico de desenvolvimento tecnológico em diversos setores foi avaliado e seguiam esse padrão, assim como a curva de adoção de uma nova tecnologia.

Os exemplos apresentados na literatura para a curva “S” normalmente retratam situações passadas. Os avanços da tecnologia trazem exemplos em que essa técnica não consegue ser retratada perfeitamente. Sood (2005) avaliou o desenvolvimento e desempenho das tecnologias de imagem, impressão, armazenamento e transmissão de dados. Os resultados mostraram exemplos nos quais a nova tecnologia não inicia com

desempenho inferior à antiga. Outra observação foi a ocorrência de saltos de desempenho da tecnologia de maior presença no mercado, alcançando ou mesmo ultrapassando a performance da nova tecnologia. A capacidade de inovação e os saltos de desempenho da tecnologia presente e o surgimento quase simultâneo de mais de uma tecnologia são situações em que nem todas as inovações tecnológicas conseguirão passar do estágio de adoção prematura.

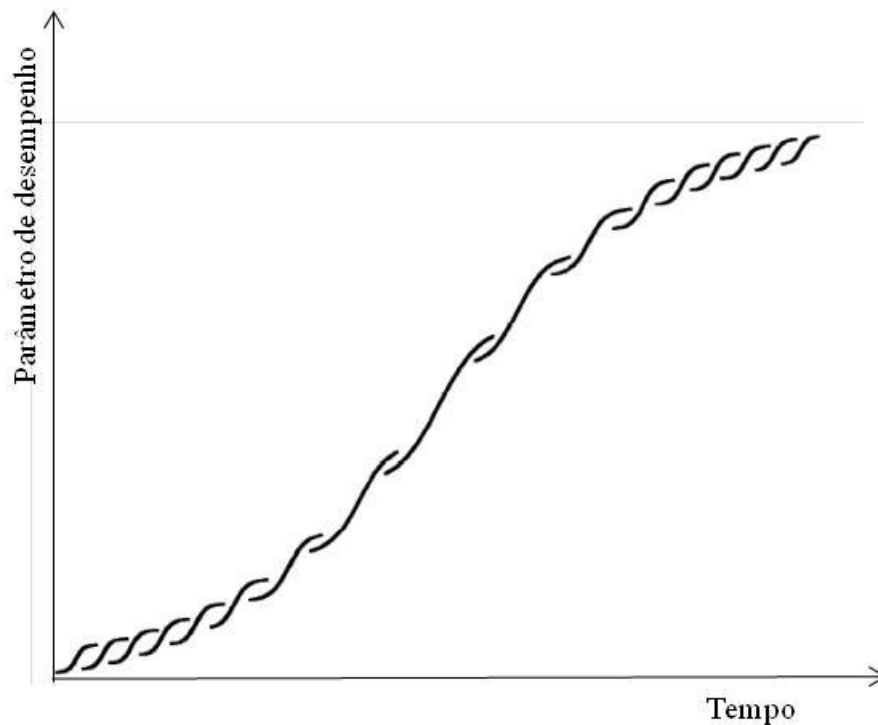


Figura 4-2 - Exemplo de curva envelope

Fonte: Adaptado de MODIS, 1994

Um exemplo desse fenômeno foi o desenvolvimento das tecnologias de gravação doméstica de vídeos. A tecnologia Betamax foi ultrapassada pelo VHS antes de aumentar a sua participação no mercado, mesmo sem um problema técnico ou de desempenho da tecnologia (PARK, 2004).

4.5 Bibliometria

A bibliometria é uma metodologia classificada como monitoramento e estatística, que pode ser utilizada de forma qualitativa ou quantitativa e num contexto exploratório. Exemplos de utilização dessa técnica são o monitoramento da produção tecnocientífica de uma instituição ou país, análise de mercados ou como indicador de desempenho de programas de governo para incentivo a pesquisa (LOSIEWICZ, 2000).

A busca pode ocorrer em diversas fontes, como publicações e artigos em revistas especializadas ou pedidos de patentes. A recente digitalização das publicações científicas possibilita o uso de sistemas automáticos de busca e a avaliação de uma grande quantidade de registros, analisando palavras-chaves ou sequências de palavras dentro de textos de publicações ou nos dados associados à publicação, metadados (MOTHE, 2006).

4.6 Tomada de Decisão Robusta

Essa ferramenta de tomada de decisão pode ser utilizada em casos complexos, nos quais existe uma grande quantidade de previsões com baixa probabilidade de ocorrência. Esse processo auxilia a identificação de ações de curto e médio prazo que sejam boas e razoáveis para uma grande gama de possibilidades de futuro.

O processo é iterativo e identifica as estratégias cujo resultado seja pouco afetado pelas incertezas dos modelos e cenários, descrevendo as vulnerabilidades não cobertas por essas estratégias (GLENN, 2009)

4.7 Metodologia Delphi

A metodologia Delphi é uma técnica da família de opinião de especialistas classificada como *soft* e aplicada em um contexto normativo ou exploratório. O seu desenvolvimento ocorreu na década de 1950 pela RAND Corporation durante um projeto para o ministério da defesa dos EUA. O objetivo do projeto era identificar, sob a ótica de planejamento estratégico da União Soviética, uma lista de alvos principais, capazes de reduzir a produção de munições a um nível previamente definido utilizando a opinião de especialistas. O uso da metodologia buscou evitar o uso de um processamento

computacional do modelo matemático, altamente dispendioso em tempo e custo para os recursos disponíveis na época (GORDON, 1964).

A base de funcionamento da metodologia constituía o envio de um questionário e um retorno das opiniões aos participantes de forma organizada e controlada. Com o seu uso foram evidenciados pontos relevantes que não seriam identificados pelos modelos matemáticos (LINSTONE, 2010).

Nas últimas décadas foram realizados diversos estudos utilizando Delphi, com variações de formas e títulos. Descrições e definições sobre o método podem ser encontradas em diversas publicações, como em Jones (1986), Santos (2004), Porter (2004).

Linstone (2002), em seu livro sobre a metodologia Delphi, a define como: “Delphi pode ser caracterizado como um método para estruturar o processo de comunicação de grupo, de forma que o processo é efetivo em permitir que um grupo de indivíduos, como um todo, trabalhe com um problema complexo”. Nessa mesma publicação ele considera que a escolha da metodologia Delphi é realizada pelas características do problema, e não pelo problema ou tarefa em si.

A comunicação estruturada entre os especialistas e pessoas interessadas possibilita ao grupo tratar um problema complexo e gerar um conhecimento coletivo. O seu uso é bastante abrangente, com emprego em diversas áreas e com objetivos variados, como a busca de dados não totalmente disponíveis ou a avaliação de significância (LINSTONE, 2002).

Carrera (2010) relata a utilização para obter a opinião entre as partes interessadas com o objetivo de utilizar os resultados em processos de decisão, sendo ainda utilizado como ferramenta na avaliação tecnológica, *Technological Assessment*. Sant’ana (2005) utilizou a metodologia para a validação da análise prospectiva de tecnologias de energia.

4.7.1 Aplicação da metodologia Delphi

A metodologia Delphi, assim como a entrevista ou as pesquisas, consiste na coleta de opiniões e avaliação dos dados. Os diferenciais da metodologia Delphi são: o

anonimato, a execução de uma ou mais rodadas, a agregação estatística dos resultados e o retorno aos participantes. Os resultados são avaliados e os participantes cujas opiniões se encontram muito distantes da média, para mais ou para menos, são convidados a expor a sua visão ao grupo, via grupo moderador, mantendo a característica de anonimato. Todos os participantes são convidados a participar de uma nova rodada e a reavaliar suas respostas e estimativas observando a opinião do grupo, normalmente expressa em dados estatísticos simples, como média e mediana, e comentários.

O formato original consiste no envio de questionários, no questionamento individual das respostas discrepantes, reenvio do questionário com os resultados, permitindo ao participante reavaliar a resposta em função das respostas e comentários do grupo. Esse processo visa eliminar os problemas típicos das técnicas presenciais: representação, interação e autoridade. Estes foram os pontos descritos por Jones, 1986:

- Representação: reunir pessoas com experiência relevante ao assunto, atividade muitas vezes dificultada por problemas de agenda ou distância geográfica.
- Autoridade: tendência das opiniões ou posições de pessoas com maior reputação técnica ou grau na hierarquia a ter um peso maior dentro do grupo.
- Interação: tendência das pessoas com maior poder de persuasão e oratória a defender melhor suas ideias, ou de um especialista deixar de expor sua opinião por timidez ou por não estar totalmente embasado para sustentar sua ideia ou julgamento controverso. Existe ainda a tendência das pessoas a manter as opiniões inicialmente expressas.

A resposta anônima é uma das características principais do método e agrega pontos positivos e negativos. Dentre os aspectos positivos está a liberdade para o participante utilizar a sua intuição ao declarar suas ideias e pensamentos, além de contrapor os principais problemas de uma técnica presencial: representação, autoridade e interação. Eventuais desvios devido a essa “liberdade” são gerenciados pelo grupo moderador pela avaliação estatística ou pelo questionamento de dados discrepantes.

Sadler-Smith (2009) indica a existência de duas formas de pensamento: a intuitiva e a analítica. A forma analítica é a que desenvolvemos e treinamos pela educação formal. O pensamento intuitivo se expressa normalmente na forma de sentimentos, possui uma visão holística e é muitas vezes entendido como um “perceber sem perceber”,

conexões não objetivas feitas de forma automática e que estão relacionadas com as experiências anteriores.

A comunicação entre o grupo de pesquisa e os participantes é realizada através de questionários. As informações e os objetivos do estudo devem ser claramente expostos aos participantes, de forma a obter respostas baseadas nas mesmas premissas. Todas as perguntas do questionário devem ser claras e sem ambiguidades, eliminando eventos condicionais, compostos ou a possibilidade de interpretações múltiplas. Autores como Jones (1986) e Wright (2000) são exemplos de publicações que listam recomendações para a elaboração do questionário, enquanto Linstone (2002) aprofunda o tema explorando as diferentes filosofias de questionamentos como possíveis perspectivas para o desenvolvimento do questionário.

Dessa forma, dentre os resultados possíveis de um exercício Delphi estão:

- Identificar novos fatores de influência da situação futura. (qualitativo);
- Medida quantitativa realizada de forma subjetiva; (quantitativo);
- Prever uma escala de tempo (temporal); e
- Viabilidade de ocorrência de determinado evento; (probabilidade).

4.7.2 Vantagens

A metodologia permite a interação de um grande número de participantes e minimiza problemas de agenda, fuso- horário etc. As novas ferramentas de comunicação permitem o envio dos questionários de forma dinâmica, rápida e a custos baixos. As incertezas, características das metodologias *soft*, tendem a ser reduzidas com a avaliação de um conjunto de opiniões de especialistas.

Os conflitos entre os participantes e a inibição ao expressar suas opiniões, por timidez ou pela presença de especialistas mais experientes ou de grandes oradores tendem a ser minimizados pelo anonimato, assim como facilitam aos participantes a revisão de suas opiniões. O questionário pode sofrer ajustes, de acordo com os resultados e avaliação do grupo moderador. O processo é repetido até que resultados estáveis sejam observados (ROWE, 1999).

A metodologia permite estruturar a comunicação entre os participantes, com a possibilidade de estabelecer novos parâmetros e inter-relações perante os modelos usuais de previsão. Dessa forma, pode-se explorar além do lado analítico e lógico, o lado intuitivo, permitindo trabalhar problemas complexos, com dados escassos ou de difícil modelagem.

Os participantes possuem influência direta sobre o resultado, o qual será o reflexo do conhecimento e da avaliação objetiva, subjetiva e intuitiva deles. As metodologias presenciais apresentam, em geral, custo mais elevado, dependem da disponibilidade e do deslocamento dos participantes até o evento e sua complexidade aumenta com o número de participantes. O uso da resposta remota permite reduzir ou eliminar as restrições físicas de localização e a quantidade de participantes, mantendo os custos do processo em níveis baixos.

4.7.3 Desvantagens

A possibilidade de o participante se esconder no anonimato e fazer previsões fora de contexto ou com estimativas exageradas, para cima ou para baixo, é um ponto negativo da metodologia. A avaliação estatística dos resultados tende a minimizar esses pontos discrepantes.

A representatividade permanece como um fator crítico, pois os resultados são fortemente influenciados pela escolha do grupo e pelos participantes que efetivamente responderam aos questionários. O envio de um grande número de questionários por meio eletrônico pode esbarrar no excesso de correspondência eletrônica recebida por muitos profissionais, ou ainda em filtros de mensagens tipo *spam*.

A elaboração de um questionário claro, sem ambiguidades e que não direcione as respostas é um fator crítico e de difícil obtenção. Adicionalmente, as respostas sempre apresentarão tendências em função de crenças ou interesses pessoais.

A execução das interações, a análise estatística dos resultados e os questionamentos das discrepâncias, seguido do retorno com os resultados e comentários compõe uma atividade, na prática, bastante complexa.

4.7.4 Recomendação do uso da metodologia Delphi

A decisão pelo uso da metodologia Delphi não está relacionada apenas com a tarefa, mas com as circunstâncias. Linstone, 2002, lista uma série de características que, caso uma ou mais estiverem presentes, indicam o uso da metodologia Delphi:

- O problema não pode ser avaliado por técnicas analíticas, mas pode se beneficiar de julgamentos subjetivos numa base coletiva;
- Os indivíduos que necessitam contribuir no exame de um problema amplo e complexo não possuem uma história de comunicação adequada ou apresentam um histórico diferenciado de experiência ou conhecimentos;
- Mais indivíduos são necessários do que possam interagir de forma adequada e efetiva em uma técnica presencial;
- Tempo e custo tornam inviável a realização de reuniões frequentes;
- A eficiência de reuniões presenciais pode ser aumentada por um processo de comunicação suplementar;
- Discordâncias entre os membros são tão grandes ou politicamente insuportáveis que o processo de comunicação deve ser arbitrado e o anonimato assegurado; e
- A heterogeneidade dos participantes deve ser preservada de forma a assegurar a validade dos resultados. Evitar domínio pela quantidade ou persuasão.

4.8 A escolha da metodologia

A escolha da metodologia depende das condições do problema de previsão e da fase do ciclo em que a tarefa se encontra. Dessa forma, os objetivos da previsão tecnológica e os métodos que serão utilizados encontram-se inter-relacionados. O uso de múltiplos métodos se faz cada vez mais necessário, em virtude da crescente complexidade dos temas.

Entre os principais fatores que devem nortear a escolha dos métodos e o seu sequenciamento, estão os aspectos: especificidade da área de conhecimento, aplicação técnica, abrangência geográfica, custo, horizonte de tempo e prazo.

O horizonte de tempo é uma variável crítica na escolha do método, devendo as premissas ou condições de contorno ser conhecidas e claras. O presente trabalho determinou um horizonte de tempo futuro de 20 a 30 anos.

A posição deste estudo está na primeira etapa da Figura 4-1. A metodologia principal foi definida através da avaliação do tema proposto, seu horizonte de tempo e abrangência.

Por ser uma análise de projeção para o futuro, as técnicas de criatividade não aparecem como as mais adequadas. Os métodos descritivos, cenários, estatísticos e de monitoramento aparecem como ferramentas importantes e necessárias, porém não como a metodologia principal. As técnicas de bibliometria e o *roadmap* do setor foram utilizadas durante a revisão bibliográfica e elaboração do questionário para fundamentar o estudo.

As metodologias de avaliação e decisão possuem sua aplicação principal em etapas subsequentes do processo. Essa condição elimina as metodologias utilizadas para a tomada de decisão ou avaliação de impacto.

O problema descrito é analítico, apresenta um cenário de novas tecnologias em estágio inicial de utilização, com os primeiros modelos comerciais ainda desenvolvendo um mercado, incorrendo numa quantidade pequena de dados disponíveis.

O estudo concentrou-se no mercado residencial, caracterizado por equipamentos com potência individual pequena, mas com impacto significativo no consumo global pela quantidade de equipamentos instalados. Os dados disponíveis das novas tecnologias para esse mercado são poucos, o que impossibilita o uso de técnicas de análise de tendências ou modelagem e as condições do estudo não têm por objetivo a busca de soluções criativas. A presença de mais de uma tecnologia em fase de adoção prematura suscita a dificuldade ou imprecisão em aplicar uma metodologia analítica, como a curva “S”.

Apesar da maior aceitação de técnicas descritivas e objetivas, as condições do tema, associadas à possibilidade de incluir a participação de especialistas dos diversos continentes a custos reduzidos indicaram o uso da metodologia Delphi.

5 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DELPHI

A metodologia Delphi pode ser utilizada com uma finalidade exploratória, em que o grupo constrói a visão de futuro, ou normativa, com um futuro já concebido. Um estudo normativo tem como ponto de partida técnicas qualitativas, como *brainstorming*, bibliometria e cenários, trazendo os resultados de outras técnicas para obter dados subjetivos de quantidade, tempo e probabilidade, ou ainda gerar novas ideias.

A metodologia foi aplicada em um contexto normativo, considerando o *roadmap* de aquecimento e ar-condicionado solar publicado pela Agência Internacional de Energia. O questionário considerou as principais tecnologias com instalações de demonstração em operação e com produtos em início de introdução comercial.

O estudo busca questionar ou confirmar os caminhos planejados, focando o mercado residencial e incluindo a tecnologia dominante em conjunto com as movidas a calor. Apenas a situação regulatória atual foi considerada, trazendo um ambiente sem condicionantes de difícil controle por parte da academia e da indústria.

A arquitetura pode contribuir para reduzir ou, em alguns casos, eliminar a necessidade de condicionamento artificial do ambiente interno, sendo que a instalação dos sistemas de condicionamento de ar podem necessitar de integração e adequação da construção. A tecnologia do ciclo de compressão de vapor é atualmente a mais utilizada.

A execução da metodologia Delphi foi dividida em quatro etapas: levantamento dos especialistas, validação da lista, desenvolvimento do questionário e envio dos questionários e análise dos resultados.

5.1 Levantamento dos especialistas

Na busca dos especialistas utilizou-se de técnicas de *text mining* e bibliometria que, segundo Losiewicz (2000) e Woon (2011), são ferramentas úteis para encontrar especialistas em um tema específico. As publicações pesquisadas estavam disponíveis no portal *Science Direct* (Scopus – Elsevier), em portais de busca e publicações livres na Internet. Conforme o trabalho de Woon (2011), o portal *Scopus* possui uma ótima abrangência. Em sua pesquisa, 77% dos resultados pesquisados no portal

Web of Science estavam no *Scopus*. O portal *Science Direct* possui a maior parte das citações *Scopus*, com a vantagem de permitir a visualização do texto completo, motivo da escolha desse portal para a base da busca dos pesquisadores. As ferramentas de busca disponíveis, como o Google®, foram utilizadas para localizar participantes de projetos e congressos no tema, como grupos de pesquisa no Brasil que não tiveram publicações recentes e participantes de projetos do IEA – *International Energy Agency* – no campo de *Renewable Heating and Cooling*.

As palavras-chave utilizadas, isoladamente ou em combinação, foram: *Heat Pump, Renewable Energy, Absorption, Adsorption, Solar Cooling, Ground source, cooling, heating, efficiency, Air Conditioning*. Os dados foram coletados de forma manual, e o resultado das buscas foi avaliado quanto a sua amplitude, avaliado pelo título, *abstract* e em alguns casos com a avaliação também do conteúdo. Os autores selecionados avaliaram as tecnologias disponíveis de forma abrangente e voltada ao sistema, não sendo listados aqueles autores com publicações relacionadas a apenas algum componente específico. A avaliação com o julgamento humano é necessária para identificar os artigos relevantes (LOSIEWICZ, 2000).

A lista de pesquisadores obtida não constitui um levantamento absoluto do tema. O levantamento foi limitado a publicações dos últimos 5 a 7 anos, quando os e-mails de contato se encontram disponíveis e publicados, e apenas o autor de correspondência foi listado. A busca não foi realizada em todas as bases de dados existentes e objetivou-se um número razoavelmente equilibrado de pesquisadores dentre as diversas tecnologias. Adicionalmente, esse número refere-se à quantidade de pesquisadores, e não de artigos publicados, eliminando a influência da produtividade.

Dentre os especialistas listados, foram incluídos outros interessados, como arquitetos, organismos governamentais e não governamentais, com o objetivo de reduzir possíveis tendências nas respostas e ampliar a visão sobre o tema.

5.2 Validação da lista de especialistas

O resultado da pesquisa por especialistas foi avaliado criticamente quanto ao país de origem na busca por tendências. Esses resultados foram comparados a padrões

observados por outros pesquisadores em outros mercados, procurando validar a abrangência da busca.

A avaliação manual dos artigos permitiu uma análise qualitativa dos temas abordados. Os títulos, resumos e as palavras-chave dos autores com trabalhos envolvendo as tecnologias movidas por energia térmica ou trazem, em geral, uma análise de desempenho de instalações-piloto ou são artigos de revisão tecnológica com informações sobre sistemas instalados para demonstração ou pesquisa (KIM, 2008) (FONG, 2010) (WANG, 2009). Os trabalhos envolvendo o ciclo de compressão de vapor estão voltados principalmente com a associação da energia geotérmica (OMER, 2008), inovações tecnológicas (GARIMELLA, 2003), energia fotovoltaica (FANG, 2010) ou compressor não elétrico, como motor a biogás (JORDAN, 2005).

O direcionamento das pesquisas para a tecnologia dominante em mudanças de ciclos e integração repete um padrão observado por Nemet (2009). O seu estudo sobre as publicações e patentes ligadas à energia eólica verificou uma queda acentuada após o início da aplicação em massa da tecnologia de turbinas com três pás e eixo horizontal.

Esse comportamento confirma uma tendência presente em trabalhos como o de Arrow (1962), no qual a pesquisa aplicada e de melhoria tende a ser realizada nas empresas produtoras e os avanços nos processos de produção são responsáveis pelos ganhos incrementais de desempenho da tecnologia.

Para o ciclo de compressão de vapor podem ser listadas diversas melhorias ao longo dos anos, sendo que muitas correspondem a desenvolvimentos dentro do contexto de competitividade da indústria ou por uma demanda provocada por mudanças na regulamentação. Como exemplo dessas mudanças e melhorias podem ser listados os compressores de velocidade variável, *inversores*; válvulas de expansão controladas eletronicamente e a tecnologia dos fluidos refrigerantes, sendo este último influenciado pelas mudanças advindas do protocolo de Montreal e pela eliminação dos CFC's (UNEP, 2011).

Os governos, por meio das agências, direcionam a produção tecnológica e as pesquisas estratégicas em temas com maior ganho social. Klerr (2010) sugere a

possibilidade do uso desse direcionamento pelo mercado para orientar os esforços privados de pesquisa e desenvolvimento. A análise da distribuição geográfica dos pesquisadores por país pode identificar os interesses ou o foco de um determinado país ou região no tema.

Os países foram concentrados em macrorregiões, para facilitar a avaliação. Assim, a quantidade de pesquisadores foi avaliada conforme a sua localização: Europa, Ásia/ Oceania, América Latina, América do Norte, África e Oriente Médio, como mostrado na Figura 5-1.

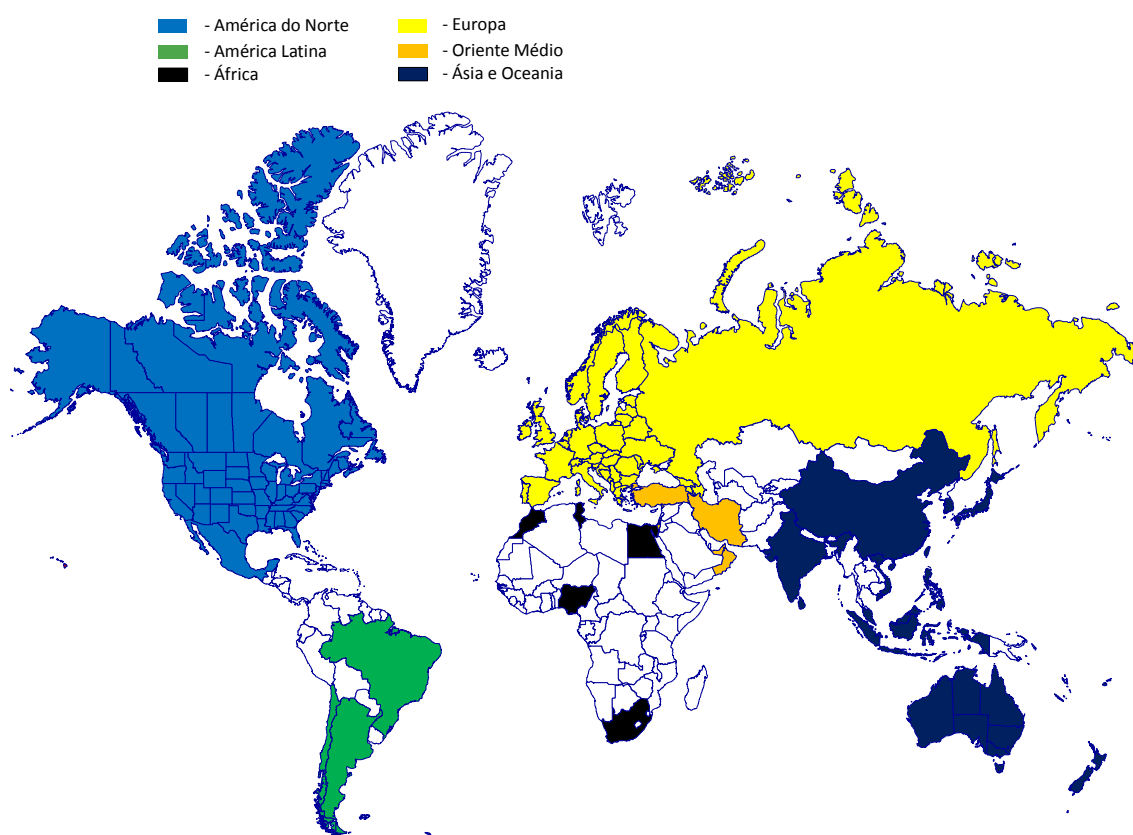


Figura 5-1- Países com pesquisadores e macrorregiões

A Figura 5-2 e a Tabela 5-1 trazem a distribuição de pesquisadores por região. Uma grande concentração de pesquisadores na Europa e Ásia/ Oceania, acima de 70%, chama a atenção, bem como a relativamente baixa quantidade de pesquisa na América do Norte. Com isso, buscaram-se os possíveis motivos dessa distribuição para validar a lista de pesquisadores.

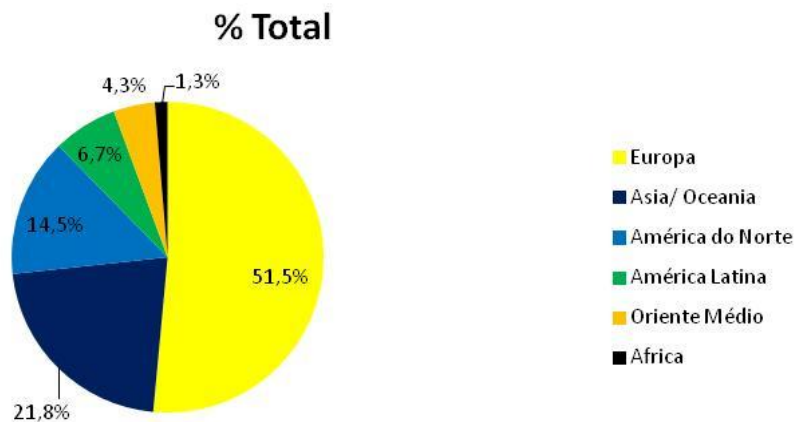


Figura 5-2 - Distribuição dos pesquisadores por região

A distribuição dos pesquisadores foi avaliada sob a ótica do consumo energético das construções e políticas governamentais, pois os estudos das bombas de calor voltadas ao condicionamento ambiental e suas associações com energias renováveis podem ser considerados uma atividade relacionada com eficiência energética. Os dados demonstraram coerência com o cenário das regiões, mostrando a relação direta entre o interesse estatal com a quantidade de pesquisadores envolvidos no tema.

Tabela 5-1: Participantes por região pela pesquisa bibliométrica

Macrorregião	Número de Participantes	% Participantes
Europa	470	51,4
Ásia/ Oceania	199	21,9
América do Norte	132	14,4
América Latina	61	6,8
Oriente Médio	39	4,2
África	12	1,3
TOTAL	913	100

Europa e Ásia/Oceania são regiões que possuem grandes desafios ao suprimento de energia, incluindo a energia elétrica (EUROPEAN COMMISSION, 2011a). Os

países da União Europeia possuem uma crescente necessidade de importação de combustíveis fósseis (EUROPEAN COMMISSION, 2011a), enquanto a China possui o desafio de aumentar a sua geração de energia elétrica a taxas de 4,6% ao ano até 2030 (IEA, 2008). As origens dos desafios podem divergir, porém convergem para o tema: geração e consumo de energia.

A pequena presença de pesquisadores da América do Norte aparece com relativa surpresa. O fato de o Canadá possuir um clima predominantemente frio e pouca ou nenhuma necessidade de ar-condicionado pode ser um fator. Adiciona-se ao fato desses sistemas possuírem uma eficiência menor, ou de não conseguirem operar na função aquecimento em temperaturas muito baixas. Quanto aos EUA, a baixa quantidade de pesquisadores pode indicar que essa solução foi avaliada pelo governo e não apresentou relevância para sua incorporação aos planos de investimento de pesquisa e desenvolvimento. Publicação recente do Departamento de Energia dos Estados Unidos da América aponta para um foco na melhoria nos padrões construtivos das edificações e do uso de equipamentos mais eficientes, sem a relação clara com energias renováveis. (US-DOE, 2012)

5.3 Desenvolvimento do questionário

O questionário é o principal elemento de comunicação entre o grupo de pesquisa e os participantes. As informações e os objetivos do estudo devem ser claramente expostos, para que as respostas compartilhem de um mesmo contexto. Publicações como Jones (1986) e Wright (2000) trazem recomendações para a elaboração do questionário. Linstone (2002) faz uma análise mais aprofundada do tema e explora as diferentes filosofias de questionamentos que podem ser utilizadas no desenvolvimento de um questionário.

As principais recomendações listadas por Wright (2000) são:

- Evitar eventos compostos, de forma que o respondente não fique em dúvida por concordar apenas com uma parte do texto;
- Evitar colocações ambíguas, com o uso de jargão técnico e expressões como “comum”, “normal” etc., pois os respondentes podem ter concepções diferentes para o termo;

- Tornar o questionário simples de ser respondido;
- Ter um número adequado de perguntas, normalmente não passando de 20 a 25;
- Esclarecer previsões contraditórias, caso existam eventos excludentes;
- Evitar ordenamento de proposições, como determinar uma ordem de prioridade entre listas grandes de itens demanda muito tempo e esforço; e
- Permitir complementação, incluir na lista uma opção que possa ser preenchida pelo respondente, caso a lista não possa cobrir todas as opções possíveis.

O questionário desenvolvido para o presente estudo buscou abordar as tecnologias movidas por fonte térmica e ciclo de compressão de vapor, com o objetivo de trazer elementos adicionais ao *roadmap*, ampliando a avaliação e fornecendo elementos para tomada de decisão ou revisão dos rumos e projeções.

As tecnologias abordadas neste trabalho possuem viabilidade técnica comprovada e diversas instalações operando para fins de pesquisa ou demonstração. Contudo, a avaliação dos artigos referentes a essas tecnologias mostra, em geral, um foco principal dos trabalhos na avaliação apenas da performance térmica dos sistemas movidos por calor. O grande desafio de adaptar as novas tecnologias às construções existentes, ou dados do consumo de energia elétrica ainda necessária nessas tecnologias, foi pouco explorado, ou informado nos artigos pesquisados, apesar de ser um requisito de desempenho importante no *roadmap* para o aquecimento e refrigeração solar (EUROPEAN COMMISSION, 2011).

Como balizador para as respostas, foram listadas as condições a serem consideradas no estudo:

- Aplicações residenciais em casas e apartamentos, com capacidade até 10kW (ou aproximadamente 34000 BTU/h);
- Energia elétrica primária: energia elétrica fornecida pelo sistema de distribuição existente;
- Considerar apenas um clima ao responder as questões;
- Futuro probabilístico de 20 a 30 anos;
- O ambiente político, regulatório ou de incentivos se manterá constante; e

- Considerar a vida útil dos equipamentos entre 10 e 20 anos.

A versão do questionário enviado na primeira rodada está no Anexo B. A sua elaboração buscou abordar o tema de uma forma diferenciada. A qualificação do participante foi realizada pelo tipo de afiliação profissional, conhecimento do tema e pelo clima de onde ele atua, ao invés do seu país ou continente. O objetivo dessa classificação foi avaliar possíveis diferenças ou semelhanças em função do clima, permitindo que participantes de países com dimensões continentais, como China, Brasil e EUA, pudessem ser comparados em termos de clima com outros países. A Figura 5-3 ilustra a presença de diferentes climas no Brasil.

A configuração dos sistemas foi abordada por partes. As perguntas abordaram o potencial de redução na necessidade de condicionamento ambiental, a tecnologia para retirada de calor da residência, a associação da energia renovável produzida localmente, a tecnologia da bomba de calor e, finalmente, a forma de rejeito de calor. Para completar, foram abordados a classificação de importância dos parâmetros de avaliação dos sistemas e o potencial de redução de custo pelo uso de materiais poliméricos em sua construção.

Uma atenção especial foi dada à energia solar térmica e seus usos, incluindo o aquecimento de ambientes e ar-condicionado e, para finalizar, foram questionados quais fatores poderiam modificar de maneira significativa as respostas e os aspectos que eventualmente deixaram de ser abordados pelo questionário.

Rowe (1999) pondera que, numa aplicação clássica da metodologia, o primeiro questionário é enviado apenas com questões abertas. Essa recomendação foi parcialmente considerada ao utilizar, na primeira rodada, perguntas abertas para os aspectos em que a elaboração das opções não estava clara.

A recomendação de Wright (2000) de deixar abertura para o respondente complementar e comentar foi utilizada sempre que a lista não foi considerada exaustiva ou completa.

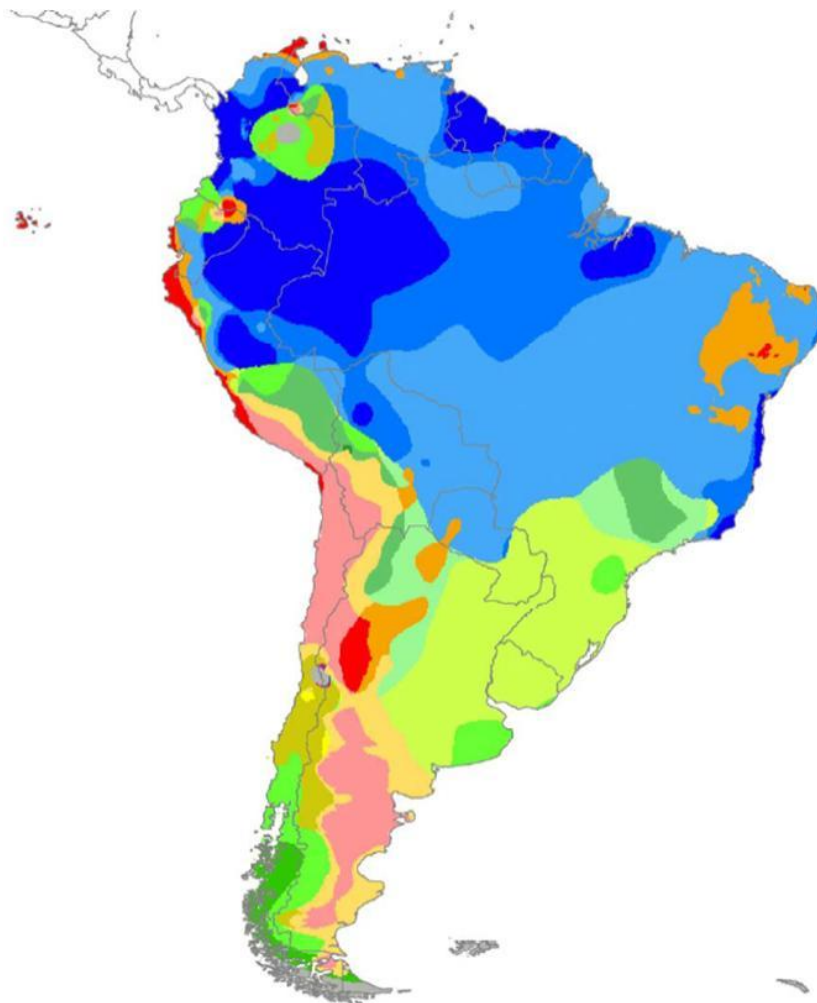


Figura 5-3 - Climas do Brasil segundo classificação Köppen-Geiger

Fonte: PEEL, 2007

5.4 Envio do questionário

A primeira versão do questionário foi enviada em 30/07/2012 para 913 especialistas, Anexo B, e o convite, anexo C. A primeira lista apresentou 64 *e-mails* inválidos e um lembrete foi enviado após 20 dias, Anexo D.

Ao final da primeira rodada, 65 especialistas responderam a todas as perguntas, enquanto outros 27 iniciaram, mas não chegaram a completar. Cerca de 80% das respostas ocorreram até 72 horas após o envio do questionário, ou do *reminder*, o que sugere uma resposta quase *on-line*.

A taxa de desistência dos participantes pode ser um resultado da complexidade e do tamanho do questionário, no qual foi utilizada uma quantidade grande de perguntas na forma de matriz.

O questionário da segunda rodada, anexo E, foi enviado aos 849 *e-mails* válidos em 30/09/2012. O anexo F traz o e-mail com o convite para a segunda rodada. Um lembrete foi enviado dia 17/10/2012, anexo G. O questionário foi respondido por 41 especialistas, sendo que 85% das respostas ocorreram nas primeiras 72 horas após o envio do questionário ou do lembrete.

A informação no *e-mail* de convite sobre os resultados da primeira rodada trouxe respostas de 18 especialistas que não participaram da primeira rodada. Outros 22, que representam 35% dos participantes, não completaram o questionário, o que pode indicar um texto muito extenso ou cansativo ao participante.

A comunicação eletrônica permite o envio dos questionários a um grande número de especialistas, a maior parte deles sem contato pessoal com o grupo organizador, e obter um retorno rápido. Considerando as condições e possíveis configurações automáticas de caixas de *e-mail*, que podem direcionar esse tipo de mensagem para a caixa de *spam*, como no anexo H, a taxa de resposta de 7,6% para a primeira rodada foi considerada positiva. O total de respostas obtidas trouxe uma quantidade de dados suficientes para uma avaliação estatística.

6 RESULTADOS

As respostas da primeira rodada foram avaliadas individualmente e ajustes ao questionário foram introduzidos para a segunda rodada, considerando os resultados e as contribuições dos participantes. Os resultados da segunda rodada foram avaliados considerando, para algumas questões, dois grupos de participantes: todas as contribuições e apenas os especialistas que participaram também da primeira rodada. Esse tipo de análise ainda não foi feito nos artigos pesquisados sobre a metodologia.

As denominações utilizadas nos gráficos para identificar os resultados estatísticos dos especialistas que: responderam a primeira rodada (1st), responderam apenas a segunda rodada (2nd) e todas as respostas da segunda rodada (1st and 2nd).

A aplicação de questões abertas e a opção de complementar a lista de opções trouxeram valiosas contribuições ao trabalho, o que foi considerado um aspecto altamente positivo. Os especialistas contribuíram para complementar a lista dos índices de avaliação das bombas de calor e seus comentários mostraram outros aspectos relevantes, mas que estão além do escopo do projeto. A lista de fatores determinantes enviada na segunda rodada foi elaborada a partir das contribuições da primeira rodada. O uso de questões na forma de matriz se mostrou de pouca praticidade para a análise dos resultados.

Uma correlação entre as respostas e o clima não foi observada e a análise quantitativa dos resultados demonstrou grande dispersão. Acredita-se que essa dispersão tenha sido fortemente influenciada pela estrutura utilizada no questionário. Assim, a forma da pergunta para o ponto-chave da pesquisa, a principal tecnologia dominante no futuro em estudo, foi alterada na segunda rodada.

A seguir, apresentam-se os dados coletados para cada questão aplicada na primeira e segunda rodadas, com uma breve análise por pergunta.

6.1 Campo de atuação

A primeira pergunta apresenta a atuação profissional do participante. A maior parte dos participantes das duas rodadas pertence à academia e a institutos de pesquisa, Figura 6-1 e Figura 6-2. A participação da indústria entre 24% e 28% foi

considerada relevante, considerando que a maior parte dos especialistas foi listada a partir de artigos científicos.

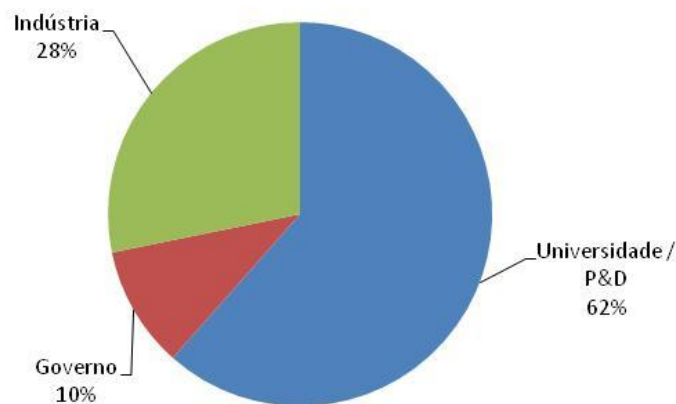


Figura 6-1- Rodada 1 - Campo de atuação

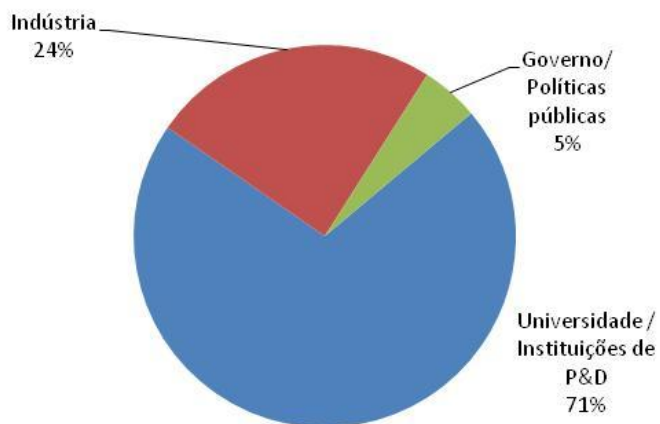


Figura 6-2 - Rodada 2 - Campo de atuação

6.2 Conhecimento do tema

A segunda pergunta solicita uma autoavaliação do conhecimento sobre o tema. Mais de 70% dos participantes se apresentaram como “especialista” nas duas rodadas, Figura 6-3 e Figura 6-4. A autoavaliação “especialista” foi definida como participante com pesquisa na área nos últimos três anos, enquanto “grande conhecimento”

foi utilizado para participantes que trabalham com desenvolvimento, agências governamentais e aplicação de sistemas.

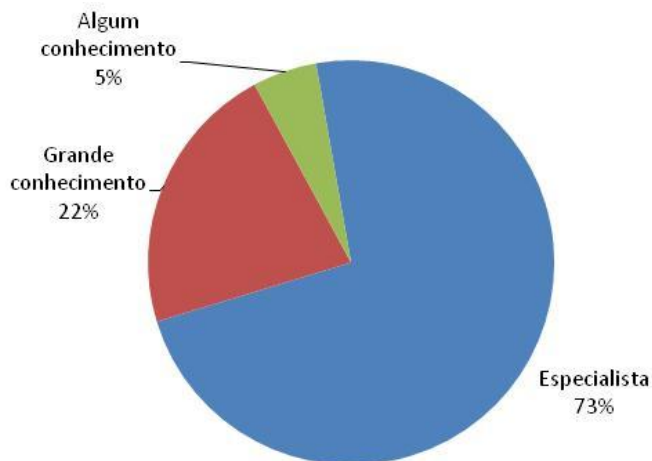


Figura 6-3 - Rodada 1 – Experiência

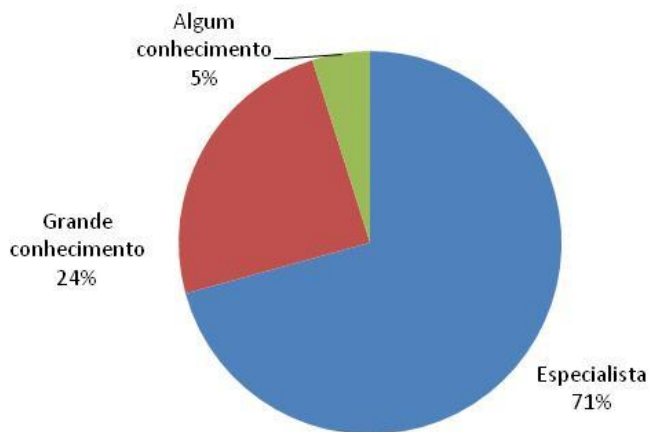


Figura 6-4 - Rodada 2 - Experiência

6.3 Clima

A terceira e última pergunta para qualificação do participante refere-se ao clima. A primeira rodada obteve uma boa amostragem para os climas tropical, temperado seco e temperado úmido e poucas respostas de climas áridos ou frios, Figura 6-5. Para a

segunda rodada foi verificada uma participação menor de especialistas de clima tropical e árido e aumento do clima frio, Figura 6-6.

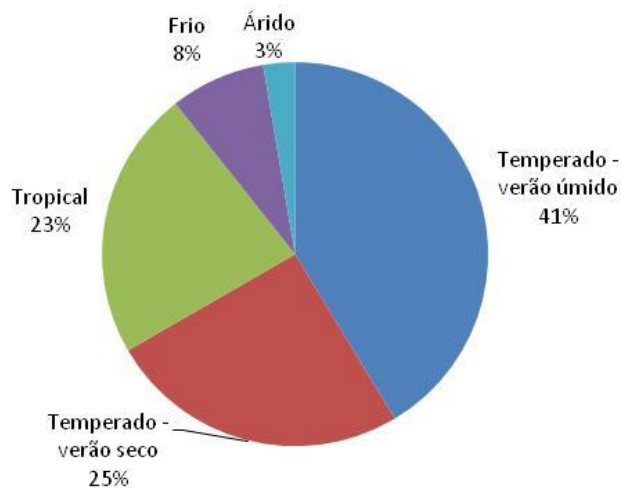


Figura 6-5 - Rodada 1 – Clima do local do participante

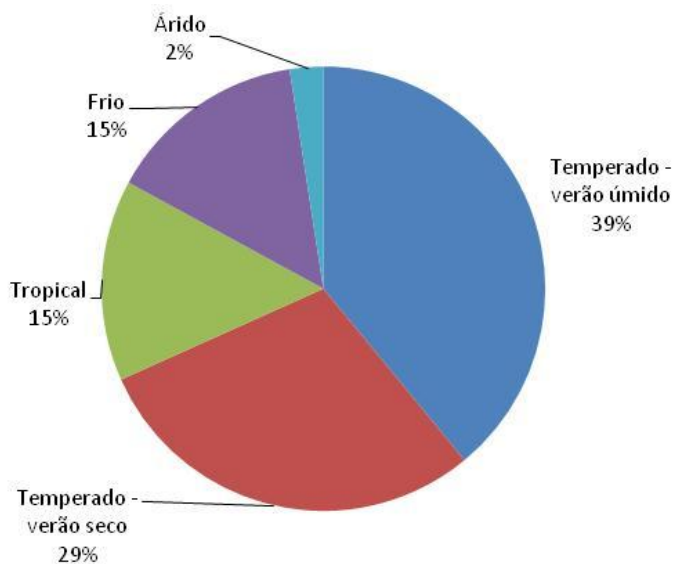


Figura 6-6 - Rodada 2 - Clima do local do participante

Terminada a fase de qualificação, os participantes iniciam a parte técnica do questionário.

6.4 Potencial de melhoria das construções

Reformas e mudanças nos padrões de construções podem reduzir a necessidade de sistemas mecânicos para o condicionamento do ar. Essas ações permitem reduzir de maneira significativa a demanda de aquecimento, são as chamadas *passive houses*. A automação e a associação a energias renováveis também podem contribuir para a redução do consumo de energia para o condicionamento ambiental das residências.

O objetivo da pergunta quanto ao potencial de redução no consumo é avaliar apenas a redução do consumo de energia elétrica fornecida pela rede devido às ações: melhores padrões de construção; reformas; integração de sistemas e associações com energias renováveis. As reduções foram divididas em faixas: 0%-20%; 21%-40%; 41%-60%; 61%-80%; >81%. Os resultados foram calculados com médias e desvios-padrão ponderados, Figura 6-7. O grande desvio-padrão observado pode ser uma consequência do uso de intervalos grandes nas opções.

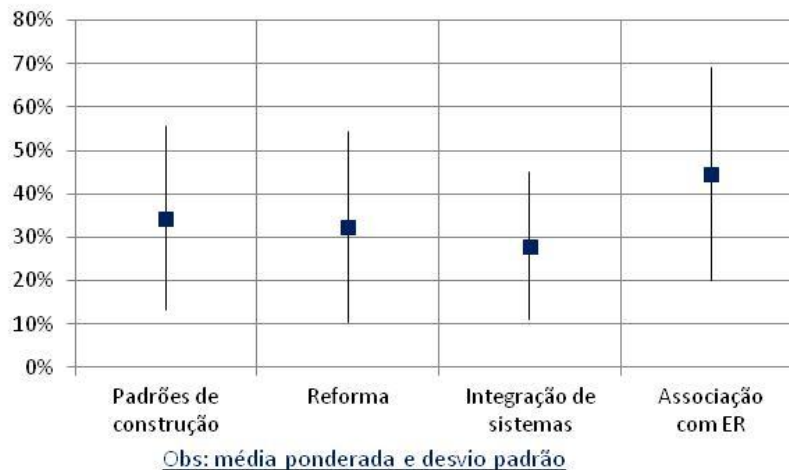


Figura 6-7 - Rodada 1 - Potencial de redução

Os dados da primeira rodada também foram avaliados por clima. O pequeno número de respostas para os climas frio e árido não permitiu realizar essa individualização. Foi observada uma maior divergência entre os participantes para ações de reforma e integração dos sistemas, Figura 6-8. Cada ação apresenta um potencial de redução, sendo que a associação com energias renováveis possui o maior potencial.

O texto dessa pergunta foi alterado na segunda rodada. O enunciado da primeira rodada utilizou o termo HVAC – *Heating, Ventilation and Air Conditioning*. Uma reanálise do texto indicou uma possível ambiguidade, pois o estudo é voltado para o condicionamento de ar e o termo utilizado deixa uma abertura para avaliar também a redução no aquecimento. Na segunda rodada foi enfatizada a avaliação apenas em ar-condicionado.

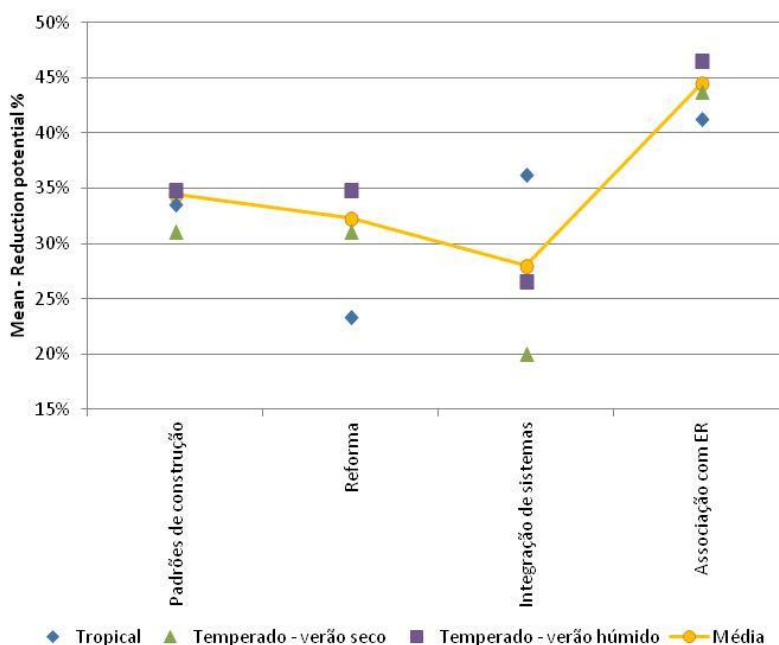


Figura 6-8 - rodada 1 - Potencial de redução por clima

Apesar da revisão do enunciado, a média ponderada das respostas apresentou pequena variação entre as duas rodadas. A maior variação ocorreu na associação com energias renováveis que, apesar de mostrar um valor médio similar, apresentou a maior dispersão nos resultados, Figura 6-9.

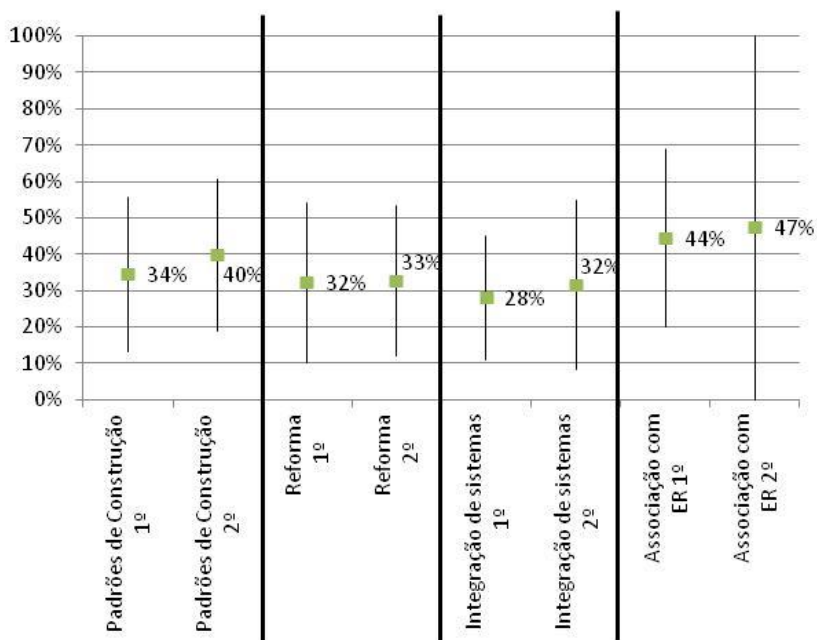


Figura 6-9 - Potencial de redução - comparação

Uma reanálise da pergunta após a segunda rodada identificou uma segunda ambiguidade. O enunciado não deixou claro se o número a avaliar correspondia a números globais ou por projeto. Apesar dessa ambiguidade, a análise da segunda rodada apontou para uma estabilidade nos resultados.

6.5 Tecnologia para retirada de calor

A redução da temperatura para condicionar um ambiente acontece pela retirada da energia sob a forma de calor e a subsequente dissipação em outro local, o chamado corpo quente. Os sistemas compactos de parede e sistemas sem dutos, *ductless* ou *split*, nos quais a unidade interna e a externa estão conectadas por duas linhas do fluido refrigerante, são mais comuns no Brasil.

As outras tecnologias listadas foram: água gelada/ teto gelado, em que retirada é realizada pela circulação de água gelada em trocadores de calor embutidos no teto, em paredes ou submetidos a circulação de ar forçada ou natural. Os sistemas de ciclo aberto que fazem a troca forçada do ar com o seu condicionamento; as unidades centrais de ar-condicionado, nas quais o ar é circulado pelo ambiente passando por uma unidade

central para condicionamento e distribuído no ambiente com o uso de dutos. A distribuição sob o piso, na qual o ar refrigerado é insuflado sob o piso, montado sobre uma plataforma. Algumas dessas tecnologias são utilizadas em grandes construções e prédios comerciais. A inclusão buscou identificar uma possível migração para as construções residenciais.

A Figura 6-10 apresenta a avaliação qualitativa das respostas. Observa-se que a distribuição sob o piso, presente em algumas construções comerciais, dificilmente será adotada em residências. Unidades centrais e água gelada foram as opções com maior taxa de respostas “alta” ou “muito alta”, entretanto nenhuma das tecnologias questionadas apresentou elevada predominância. As tecnologias movidas a calor normalmente operam como uma unidade central ou com um circuito de água gelada.

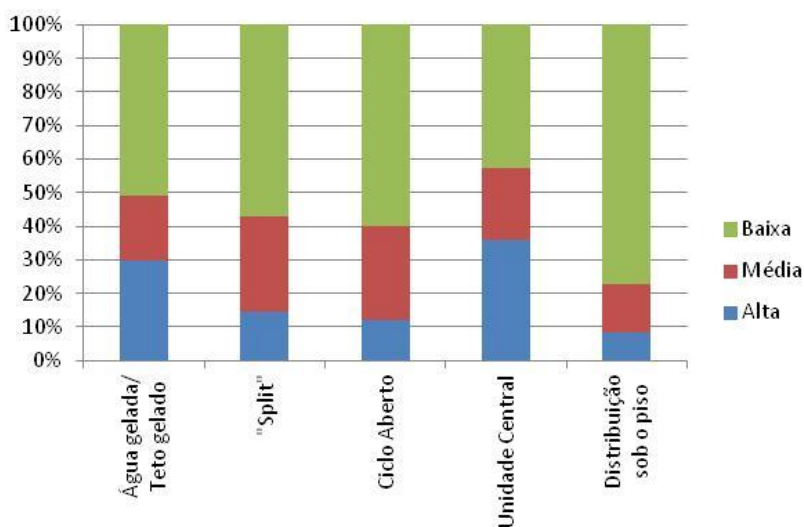


Figura 6-10 - rodada 1 - tecnologia de retirada de calor

As médias ponderadas e desvio-padrão foram avaliados, Figura 6-11. Todas as tecnologias avaliadas apresentaram valores relativamente baixos, apenas com AHU e água gelada apresentando valor pouco maior.

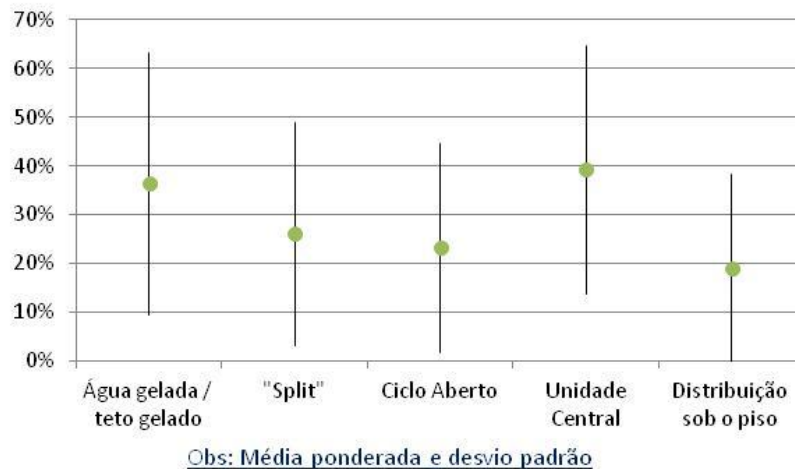


Figura 6-11 - rodada 1 - tecnologia de retirada de calor - quantitativo

A dispersão observada pode ser novamente uma consequência das opções colocadas no questionário: *Very high* (>85%); *High* (61% – 85%); *Medium* (41% – 60%); *Low* (11% – 40%); *Very low* (<10%). Outra causa provável da elevada dispersão pode estar relacionada com o tipo de residência – casa ou apartamento. Uma alternativa para eliminar essa dúvida seria dividir a pergunta em casa e apartamento, o que iria aumentar ainda mais a complexidade e o tamanho do questionário, com o efeito provável de aumentar a taxa de desistência.

A opção “outras” não revelou novos elementos, porém suscitou uma segunda ambiguidade nessa pergunta, em que a tecnologia de retirada de calor possui uma relação direta com a tecnologia da bomba de calor. Possivelmente a presença do termo *open cycle* possa ter suscitado tal confusão, pois a forma da retirada de calor e a tecnologia possuem o mesmo nome.

A Figura 6-12 mostra o resultado qualitativo da segunda rodada, na qual foi realizada a comparação das respostas dos dois grupos. Água gelada, sistema central e sem dutos apresentaram um aumento das respostas “alta” e “média”, enquanto o ciclo aberto apresentou uma redução, em especial para o grupo que participou das duas rodadas.

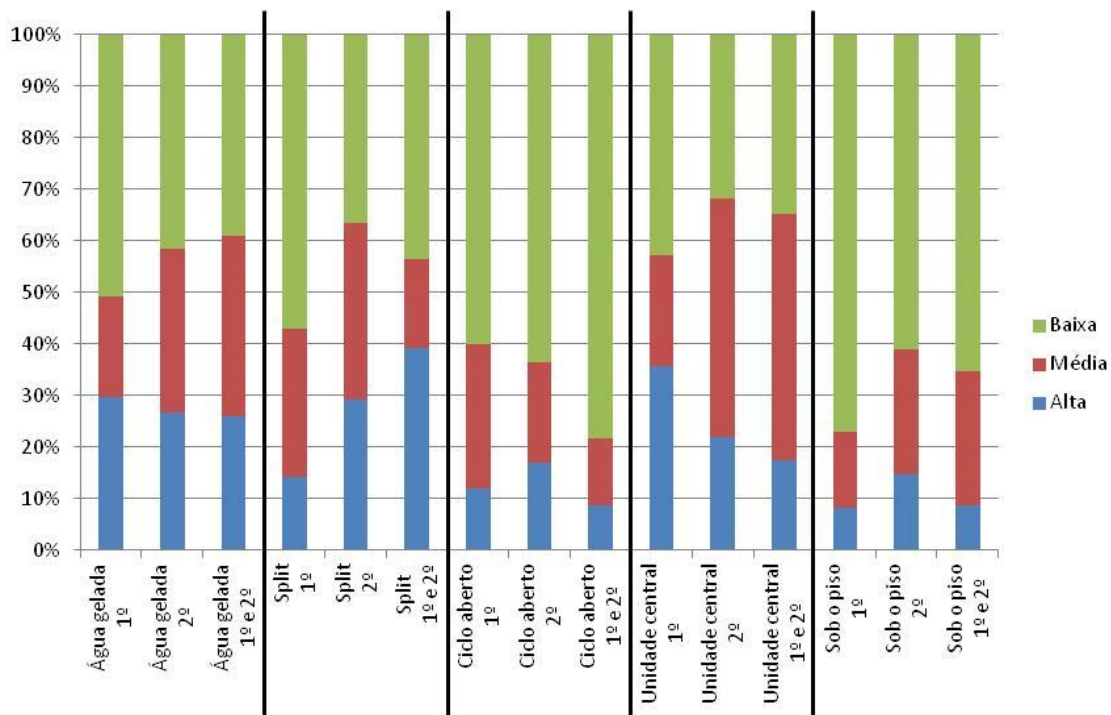


Figura 6-12 - Tecnologia de retirada de calor - comparativo qualitativo

A avaliação quantitativa, Figura 6-13, apresentou o mesmo padrão de aumento, com exceção do ciclo aberto e das unidades centrais, que apresentaram menor aumento na média.

Os resultados indicam uma possível diversificação nos projetos de ar-condicionado e possivelmente das tecnologias empregadas. A participação das unidades centrais e água gelada sugere uma concepção de projetos residenciais incorporando sistemas de condicionamento de ar, semelhantes aos projetos de aquecimento para as residências de clima temperado e frio.

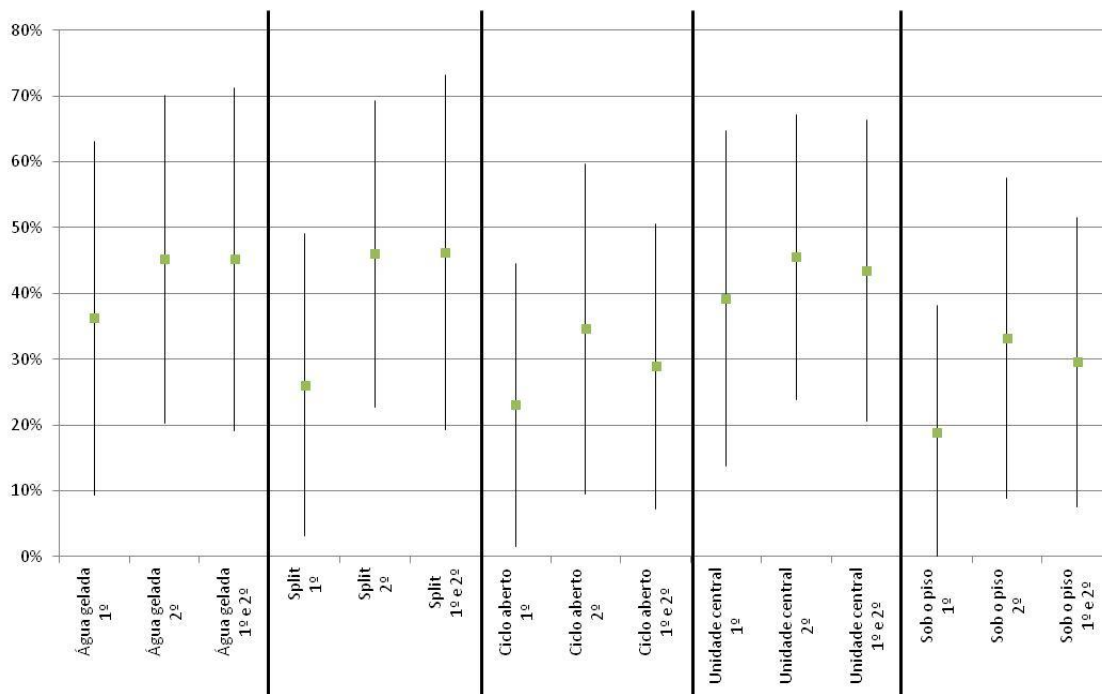


Figura 6-13 - tecnologia de retirada de calor - comparativo - quantitativo

6.6 Associação com energias renováveis

Os participantes avaliaram qual a redução de demanda de energia elétrica da rede que pode ser obtida via associação com as energias renováveis. Nesse ponto os especialistas avaliaram quais fontes ou formas de energia renovável estarão associadas às bombas de calor para condicionamento ambiental no período de 20-30 anos. As opções apresentadas correspondem à geração local de energia elétrica, mecânica ou térmica.

A energia solar, tanto na forma fotovoltaica quanto na forma de energia térmica, surge na primeira rodada como a principal associação, Figura 6-14.

Considerando-se o objetivo de associações a energias renováveis captadas localmente, o enunciado da segunda rodada trouxe uma referência expressa quanto à avaliação da associação da energia renovável gerada localmente e associada ao sistema de condicionamento de ar. Dessa forma, evita-se uma possível avaliação da componente renovável da matriz de geração elétrica do país ou para a função aquecimento.

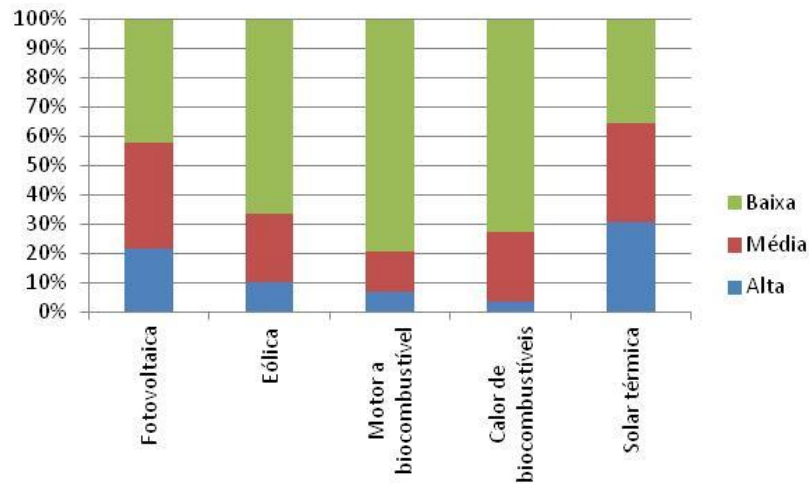


Figura 6-14 - rodada 1 - associação a energia renovável

A análise dos resultados da segunda rodada mostra que a energia solar-térmica e a solar-fotovoltaica permanecem como as principais associações, Figura 6-15. As demais energias renováveis apresentaram redução na participação. A energia solar, seja pela energia térmica ou pela fotovoltaica, apresenta o maior potencial de participação futura no mercado.

Os resultados apresentaram uma variação maior que o observado nas outras perguntas. A alteração do texto da pergunta, enfatizando a geração local, pode ser o motivo da variação. A comparação entre os dois grupos de avaliação na segunda rodada apresentou divergências consideradas muito pequenas, em função da sensibilidade do indicador. Cada resposta do grupo que participou das duas rodadas representa cerca de 5%.

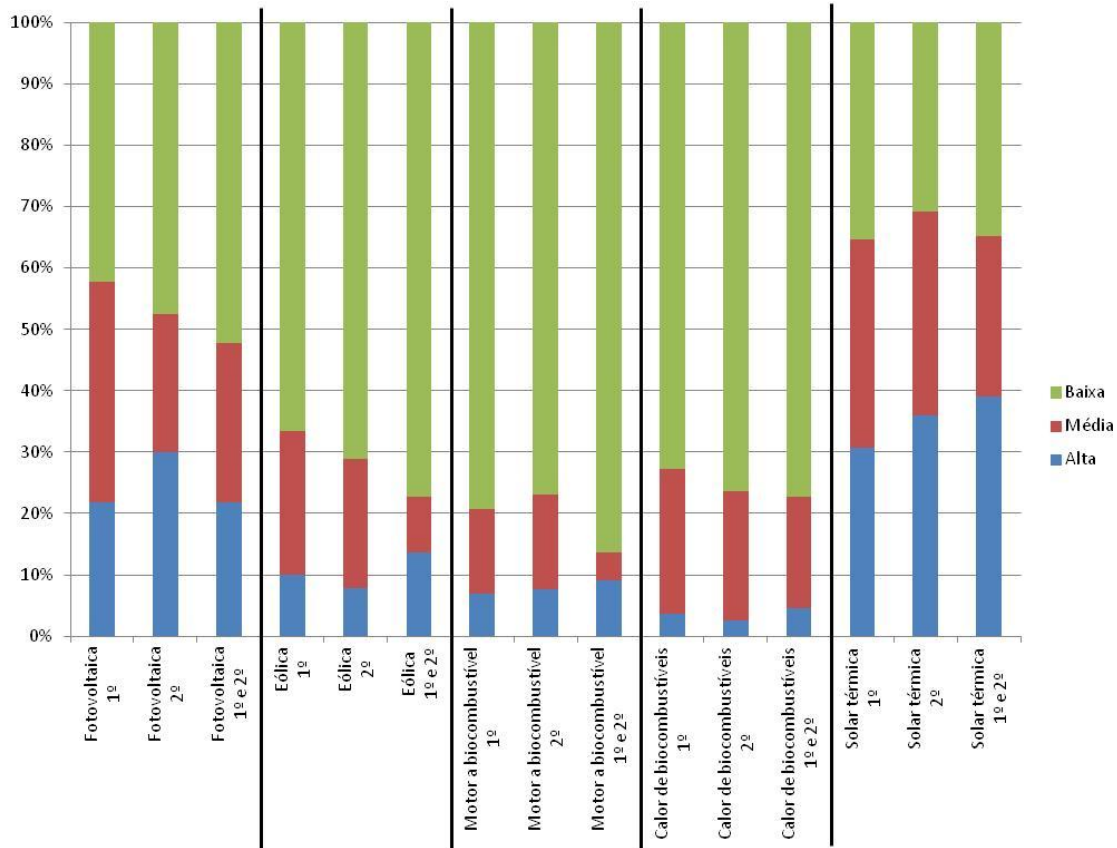


Figura 6-15 - Associação a energia renovável - comparativo qualitativo

6.7 Tecnologias de bomba de calor

As quatro tecnologias listadas foram: absorção, adsorção, ciclo aberto e compressão de vapor. O ciclo de compressão de vapor é praticamente a única tecnologia utilizada nas residências atualmente. Os resultados da primeira rodada apontam para uma situação pouco alterada no horizonte de 20-30 anos, Figura 6-16.

A menor participação, para as tecnologias movidas a calor, foi atribuída ao ciclo aberto enquanto a absorção e a adsorção não apresentaram uma tendência clara de predominância de uma das tecnologias.

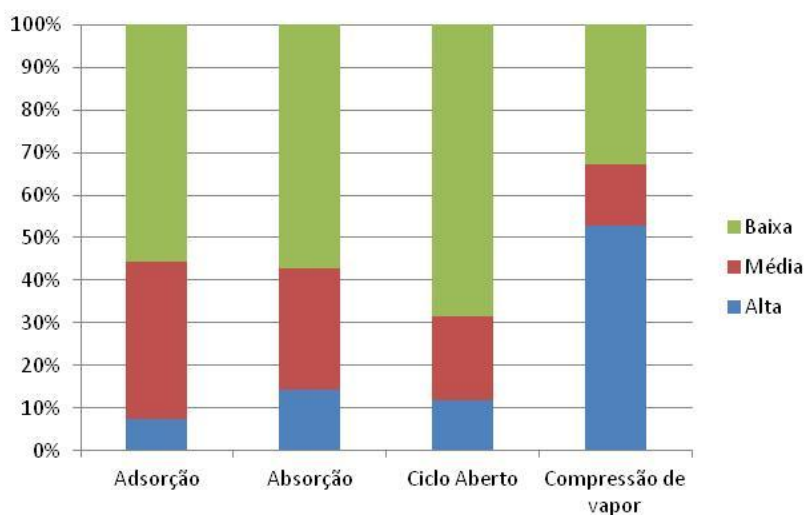


Figura 6-16 - Rodada 1 - Tecnologia da bomba de calor- qualitativo

O formato semiquantitativo utilizado no questionário mostrou-se pouco eficiente para a análise dos dados, motivando a mudança na forma da pergunta na segunda rodada. Os especialistas responderam qual tecnologia seria a predominante e a segunda principal. A Figura 6-17 traz a frequência da resposta como principal ou segunda maior participação. Os resultados confirmam o ciclo de compressão de vapor como a principal tecnologia, tendo o ciclo de absorção como a segunda maior participação e, por último, o ciclo aberto e a adsorção.

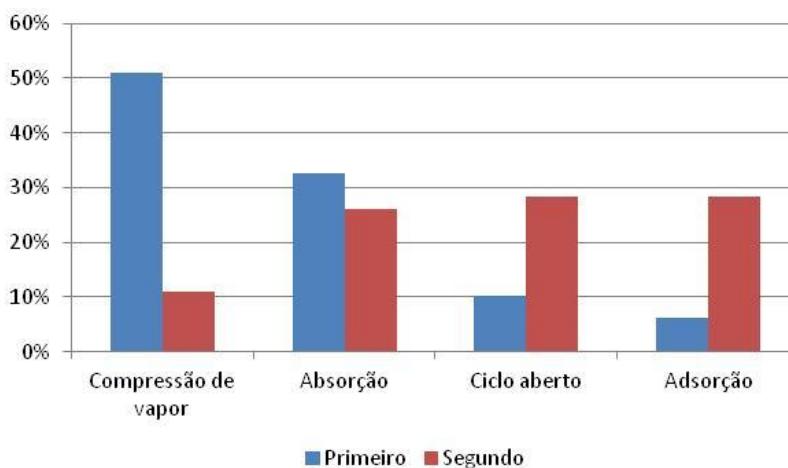


Figura 6-17 - Rodada 2 - Tecnologia da bomba de calor

6.8 Dissipação do calor

O calor retirado do ambiente deve ser dissipado. As principais formas de descarte são: o ar, o solo ou, ainda, um reservatório térmico. A torre de resfriamento é uma forma de rejeição do calor para o ar com o uso de um circuito secundário com circulação de água. A Figura 6-18 apresenta os resultados da primeira rodada, na qual é possível observar a predominância da rejeição direta para o ar, seguido de torre de resfriamento e alguma participação do sistema geotérmico, GHX – trocador de calor enterrado – e reservatório térmico, como rios, lagos piscinas e outros.

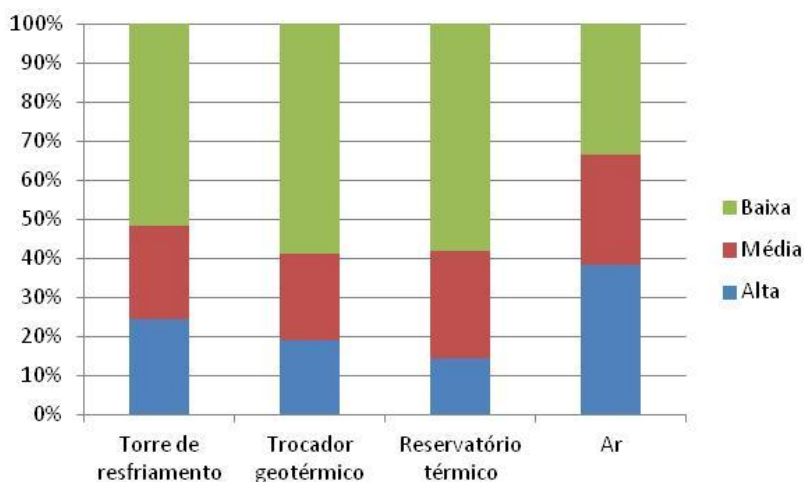


Figura 6-18 Rodada 1 - Tecnologia de rejeito de calor - qualitativo

A baixa participação do sistema geotérmico e reservatório térmico pode estar relacionada com a necessidade de condições específicas para incorporar essas formas de rejeito ao projeto, como espaço ou disponibilidade de um reservatório térmico próximo à construção.

O resultado da segunda rodada também foi dividido entre todas as respostas e as dos especialistas que participaram das duas rodadas, Figura 6-19. Uma pequena variação foi observada para as opções geotérmica (GHX) e reservatório térmico, e uma tendência de aumento da opção de rejeito direto ao ar e redução das resposta “alta e muito alta” para torre de resfriamento.

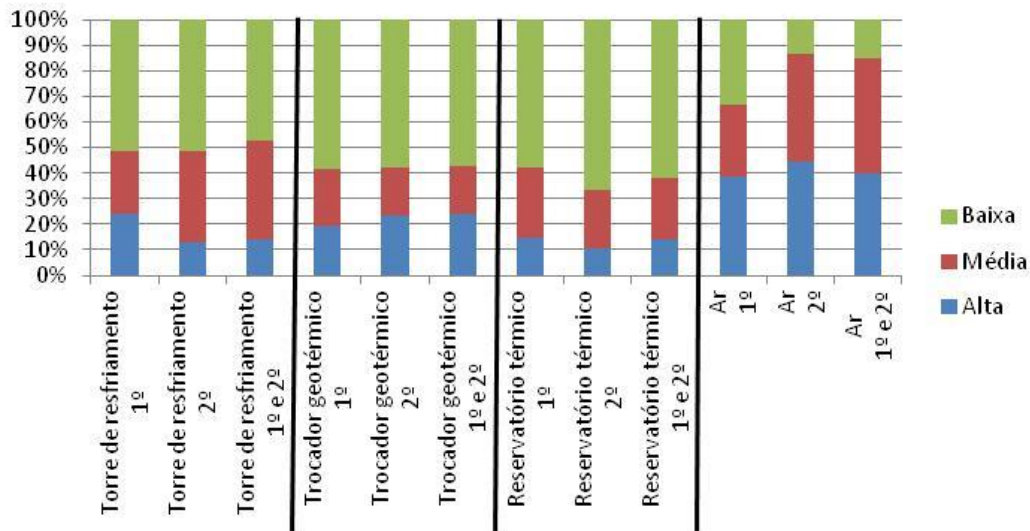


Figura 6-19 - Tecnologia de rejeito de calor - qualitativo - comparativo

A redução de participação de torre de resfriamento parece coerente com o mercado residencial, por essa forma de rejeito de calor necessitar de manutenção constante e especializada. Os resultados da segunda rodada para os dois grupos foram, novamente similares, considerando que cada resposta desse grupo corresponde a um valor aproximado de 5%.

6.9 Índice de desempenho do sistema

A avaliação do desempenho e evolução de diferentes produtos e tecnologias exige uma abordagem sistemática e padronizada e constitui um instrumento importante para a tomada de decisão. Uma forma de comparação das bombas refere-se ao seu desempenho termodinâmico. Esse desempenho possui limites impostos pela termodinâmica e que variam em função das condições de uso. Com isso, para realizar a comparação é necessário definir e padronizar as condições de ensaio.

Os sistemas de ar-condicionado são, atualmente, submetidos a uma certificação que atesta o seu desempenho e o classifica conforme padrões de eficiências definidos. As normas atuais definem as condições de ensaio e desempenho para os sistemas de ar-condicionado elétrico. O coeficiente de desempenho, ou o índice de eficiência

elétrica, avalia a quantidade de energia movimentada em relação à energia elétrica consumida. As condições de ensaio para cada aplicação são determinadas por normas nacionais e internacionais, como a portaria INMETRO 215 de 23 de Julho de 2009 ou a norma ISO 5151 de 2010.

O coeficiente de desempenho elétrico, COP_{el} , é definido pela relação potência de frio pela potência elétrica. O COP_{th} avalia a energia térmica retirada pela energia térmica empregada. O COP_{sys} é a relação entre a potência de refrigeração pela potência total empregada. A lista considerou também o índice de qualidade do processo, que é a relação do COP_{sys} / COP_{ideal} , que corresponde a uma relação entre o desempenho observado e o melhor desempenho termodinamicamente possível. A eficiência exergética é uma medida da destruição do trabalho útil, ou da irreversibilidade, possuindo alguma similaridade prática com o índice de qualidade do processo e considera também a qualidade da fonte energética utilizada. O custo de investimento e operação, apesar de não ser uma medida de eficiência energética, sugere a ponderação necessária entre a viabilidade técnica e os custos de investimento e operacionais.

A primeira rodada incluiu a opção “outros”, para receber sugestões de outros parâmetros de desempenho. A Figura 6-20 apresenta os resultados qualitativos da primeira rodada. Todos os parâmetros receberam uma quantidade significativa de respostas “alto” e “muito alto”, o que indica a relevância de todos os parâmetros listados. O COP elétrico e o COP de sistema receberam a menor taxa de “baixo” e “muito baixo”, enquanto investimento e custo operacional e COP de sistema receberam a maior taxa de “alto” e “muito alto”.

Process Quality Index, PQI, e Eficiência Exergética são os parâmetros com a maior frequência de resposta “baixo” e “muito baixo”. Este tipo de análise é normalmente realizado para avaliar as etapas do processo e identificar onde ocorrem as maiores perdas termodinâmicas, ou irreversibilidades.

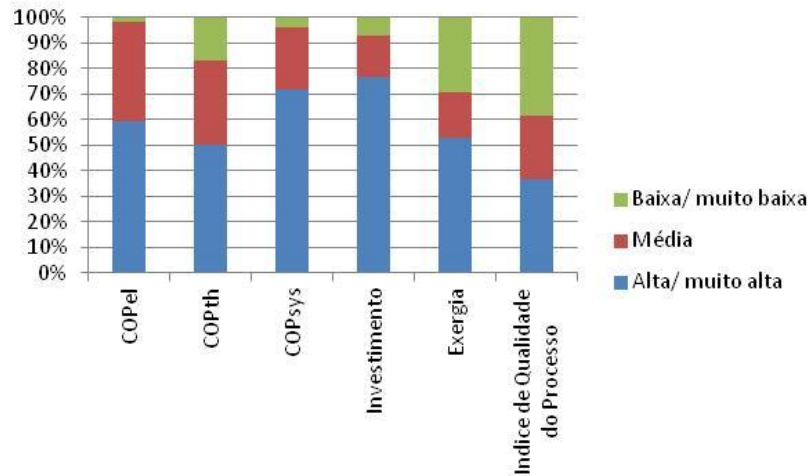


Figura 6-20 - Rodada 1 - Importância dos indicadores

As contribuições da primeira rodada levaram a inclusão do fator de desempenho anual, ou sazonal. Esse parâmetro apresenta um conjunto de condições de ensaio, simulando condições ao longo do ano e atribuindo um peso a cada uma delas. O desempenho do sistema é avaliado pelo cálculo dos coeficientes de desempenho, COP. Essas condições definidas correspondem a climas típicos e os resultados são ponderados em função da taxa de ocorrência de cada condição.

A Figura 6-21 apresenta os resultados comparativos da primeira e da segunda rodadas. Os índices PQI e eficiência exergética apresentaram redução significativa na quantidade de respostas “alta” “muito alta”, enquanto o COP_{el} e COP_{sys} uma pequena redução. Investimento e custo operacional ficaram sem nenhuma resposta “baixa” ou “muito baixa”. O fator de desempenho sazonal, incluído na segunda rodada, foi o segundo em classificação “alto” “muito alto”, e com a mesma quantidade de respostas “baixa” ou “muito baixa” que o COP do sistema.

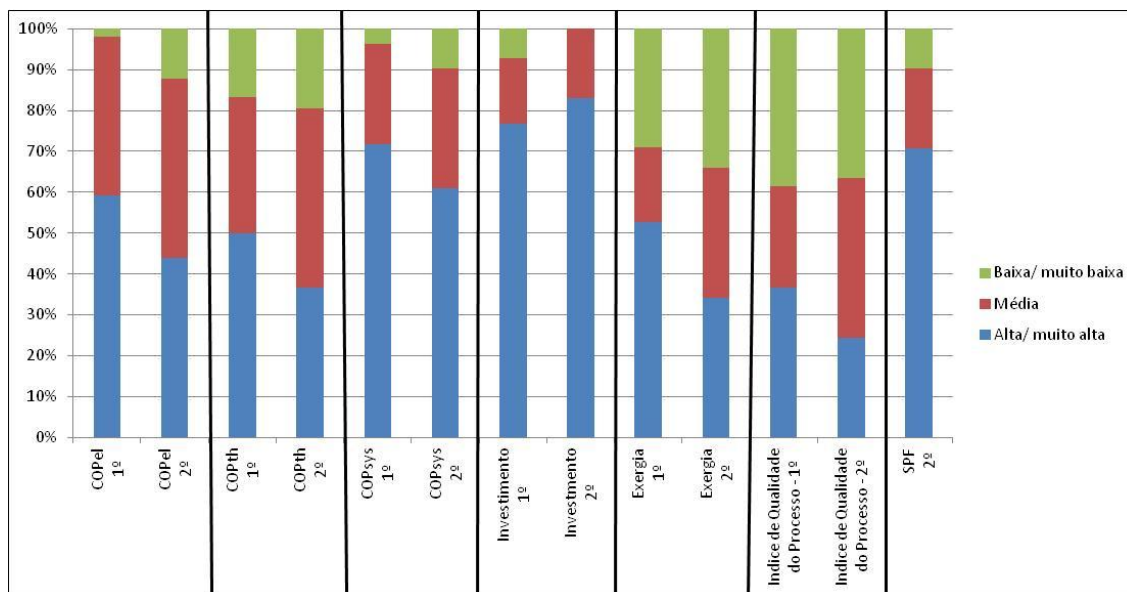


Figura 6-21- Rodada 2 - Importância dos indicadores

O resultado da segunda rodada é um exemplo da importância da abertura para a contribuição do grupo. As respostas, apesar de apresentarem uma mudança entre as duas rodadas, pouco deveriam mudar em uma terceira rodada. Um consenso claro, ou praticamente uma unanimidade é a importância dos custos e também de uma avaliação ampla do desempenho dos sistemas.

6.10 Uso da energia solar térmica

A energia solar térmica possui diversas aplicações, como o aquecimento de água para uso sanitário e aquecimento de ambientes. A sua utilização como fonte de energia para os condicionadores de ar aparece como uma aplicação adicional.

O ganho obtido em sua utilização no aquecimento de água pode ser diretamente quantificado pela redução no consumo de combustíveis fósseis ou energia elétrica, que é a principal fonte de energia para aquecimento de água para as residências no Brasil. Em algumas localidades, como o município de São Paulo, surgem iniciativas de fomento, como a exigência legal para inclusão do aquecimento solar para as novas construções, lei 14.459 de 3 de Julho de 2007. O objetivo dessa pergunta é estimar os diversos usos da energia solar térmica, incluindo o condicionamento de ar.

A Figura 6-22 apresenta os resultados qualitativos da primeira rodada. O uso da energia solar térmica no aquecimento de água aparece de forma quase unânime, com alta taxa de respostas “presente”. O uso combinado, que corresponde ao uso em mais de uma das utilizações listadas, aparece com a segunda maior taxa de respostas “presente” enquanto o ar-condicionado ficou como a maior taxa de respostas “raramente”.

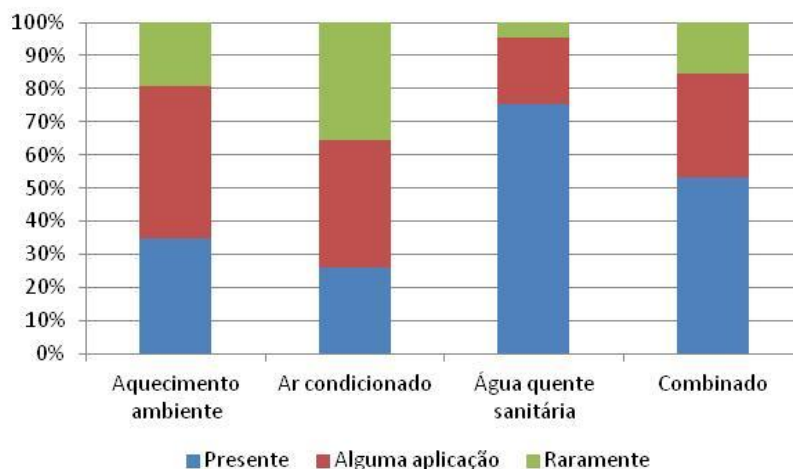


Figura 6-22 - Rodada 1 - Uso da energia solar térmica - qualitativo

Esse resultado pode indicar um consenso quanto ao espaço da energia solar térmica para aquecimento de água, com uma pequena participação para ar-condicionado. Os dados foram confirmados na segunda rodada, Figura 6-23.

Uma segunda análise das opções revelou uma possível ambiguidade. O conceito de sistema combinado pode sugerir as combinações água quente sanitária e aquecimento de ambiente ou água quente sanitária e ar-condicionado. Ainda assim, a presença do aquecimento solar para água aparece como uma quase unanimidade, enquanto as outras aplicações também avançaram na avaliação.

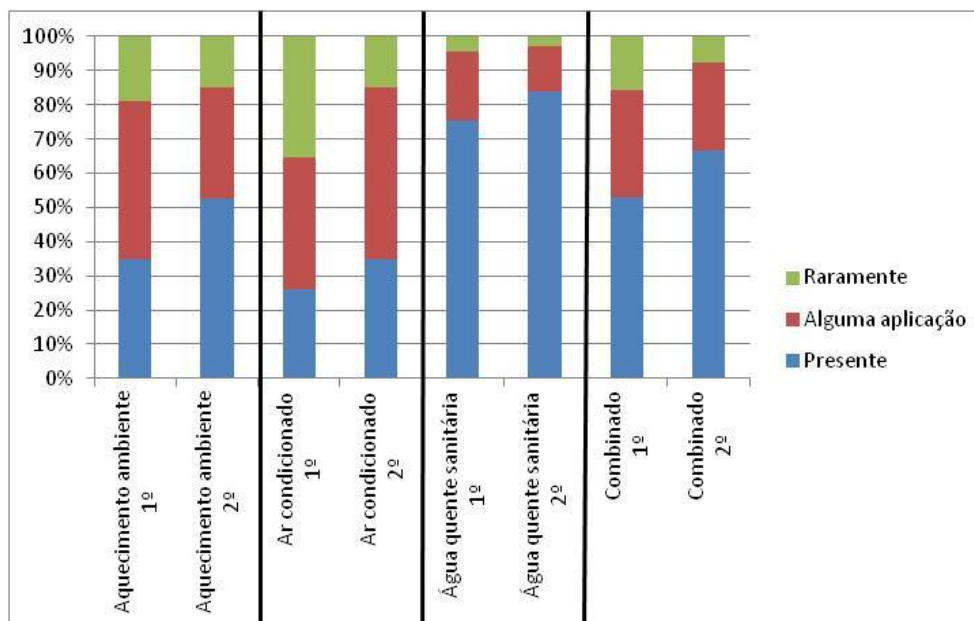


Figura 6-23 - Uso da energia solar térmica - comparativo qualitativo

6.11 Potencial do uso de material polimérico

O custo apresenta-se como um critério relevante para os sistemas e as novas tecnologias. Historicamente os polímeros colaboraram para a redução de custo em diversos setores. Na primeira rodada, o potencial para redução de custos foi avaliado como “alto” ou “médio” por mais de 70% dos respondentes, Figura 6-24. Na segunda rodada os especialistas foram convidados a rever a sua avaliação e também indicar os componentes que podem ser substituídos.

Os dados da segunda rodada, Figura 6-25, apresentaram uma redução significativa nas respostas classificadas como “alto” e “médio”. Dentre as principais aplicações potenciais estão: tubulações de água quente e também no coletor, trocadores de calor, caixa externa dos equipamentos e dutos.

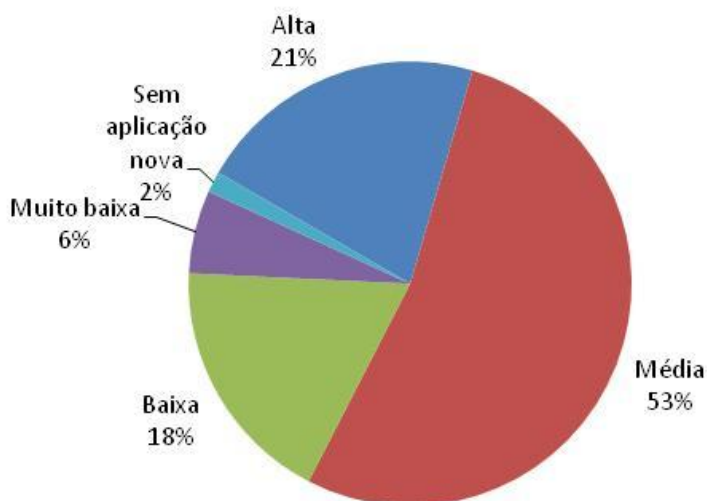


Figura 6-24 - Rodada 1 - Potencial de redução de custo com material polimérico

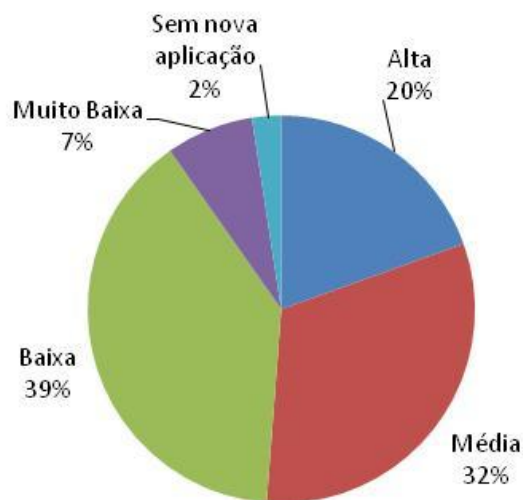


Figura 6-25 - Rodada 2 - Potencial de redução de custo com material polimérico

A baixa transmissão de calor dos materiais poliméricos é uma característica que possibilitou o seu uso em diversas aplicações, mas que afeta de maneira crítica as aplicações das bombas de calor. Apesar disso, sua utilização já é comum nos sistemas geotérmicos de baixa profundidade, pela sua alta durabilidade nessas condições e possivelmente pelo solo não ser, em geral, um excelente dissipador de calor. A baixa

eficiência na troca térmica dos polímeros demanda trocadores maiores, que podem ser compensados pelo baixo custo, alta durabilidade ou resistência a corrosão.

6.12 O que pode alterar a previsão realizada

As condições de contorno colocadas aos especialistas não incluíram mudanças no sistema legal e de incentivos, por serem fatores que envolvem outras esferas de atuação. Com isso, utilizou-se uma pergunta aberta para receber as contribuições dos especialistas sobre os fatores críticos para catalisar uma mudança no curso contido nas respostas anteriores.

A pergunta aberta mostrou o potencial da contribuição dos especialistas e da livre expressão. O resultado poderia ser comparável a um *brainstorming* executado da forma ideal, pois permitiu a colocação de ideias anônimas e em separado eliminando qualquer interferência dos demais participantes, como pré-julgamentos. Cerca de 90 comentários acrescentaram informações importantes.

Aproximadamente 30 comentários indicam como fator significativo grandes mudanças nos custos para alterar as respostas aplicadas. O fator custo foi abordado pelos comentários em diferentes perspectivas: aumento do custo das energias fósseis, redução dos custos das energias renováveis, mudanças na precificação da energia ou, ainda, a taxação da emissão de carbono.

As mudanças nas políticas públicas foram apontadas como fator determinante para mudança dos resultados em aproximadamente doze comentários. O surgimento de novas tecnologias foi citado por outros 12 comentários enquanto 9 comentários indicaram a mudança social e o aumento da consciência ambiental.

A partir dessas contribuições elaborou-se uma lista para escolha na segunda rodada. Os especialistas foram convidados a selecionar as barreiras ou ações que poderiam iniciar a adoção em larga escala das energias renováveis nos sistemas de ar-condicionado, sem levar em consideração o aumento no custo dos combustíveis fósseis.

A Figura 6-26 apresenta os resultados da segunda rodada para os dois grupos. O custo foi eleito por cerca de 90% dos especialistas, enquanto mudanças de política foram assinaladas por cerca de 50% dos participantes. A avaliação dos dois grupos

da segunda rodada mostra a grande convergência entre os especialistas, indicando novamente a uniformidade das respostas entre os grupos.

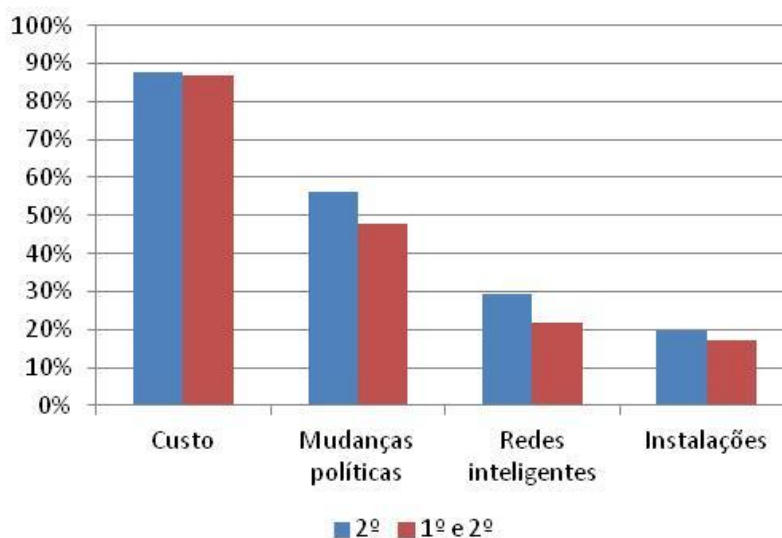


Figura 6-26 - Rodada 2 - fatores para associação da energia renovável

A implantação de sistemas de medição inteligentes, os chamados *smart grids*, e a instalação de diversos equipamentos em demonstração receberam a menor taxa de respostas.

6.13 Elementos não abordados

O questionário abordou diversos aspectos envolvendo as bombas de calor de forma isolada. Essa questão foi incluída para receber contribuições livres sobre o que mais poderia ou deveria ser abordado. Os especialistas inseriram cerca de 20 comentários. Os pontos de maior destaque abordam a possibilidade de incorporar aos sistemas de ar-condicionado residenciais melhorias já disponíveis para equipamentos de maior potência e mudanças culturais, tanto de usuário quanto de projeto, com a possibilidade de questionar os critérios de conforto térmico e seu atendimento em todos os momentos.

A introdução de uma nova tecnologia pode exigir mudanças estruturais e alguns comentários questionaram o preparo da indústria para as novas tecnologias. A introdução de uma quantidade maior de equipamentos para demonstração foi incluída na

segunda rodada buscando avaliar esse mecanismo como ação para preparar a indústria aos novos ciclos e, assim, facilitar a sua expansão. Os resultados, Figura 6-26, mostram que esse fator não parece ser o principal para a adoção ampla pelo mercado das novas tecnologias.

As tecnologias de armazenamento também foram citadas como elemento a ser considerado, o que aparece realmente como uma necessidade, ao se considerarem os ciclos de energia solar disponível e consumo nas residências. Apesar de relevante, esse questionamento não foi incluído, para não aumentar a complexidade do questionário.

6.14 Avaliação dos resultados e critérios de parada

A metodologia Delphi prevê a realização de mais de uma rodada, com um retorno dos resultados da rodada anterior em dados estatísticos simples, média e mediana. Um dos pontos de avaliação da metodologia é determinar o momento certo para interromper as interações.

Segundo Linstone (2010), um mal-entendido que necessita ser corrigido quanto à técnica Delphi é a impressão errônea de que o objetivo da Técnica Delphi é obter o consenso. Segundo o autor, “Delphi é um método para estruturar o processo de comunicação de grupo”. O número de rodadas deve ser baseado na estabilidade das respostas.

A análise da segunda rodada mostrou uma variação muito pequena entre as respostas da primeira e da segunda rodadas. A diferença entre os resultados foi, em muitos casos, menor que a sensibilidade em função do número de participantes. A avaliação das respostas dos dois grupos na segunda rodada também mostrou uma variação pequena. Esses resultados levaram a decisão pelo fim do processo iterativo na segunda rodada. A obtenção da estabilidade já na segunda rodada é algo frequente. Segundo Rowe (1999) raramente os estudos passam de duas ou três rodadas.

7 CONCLUSÕES

O presente trabalho utilizou a metodologia Delphi para avaliar o potencial de sinergia das energias renováveis nas bombas de calor para o condicionamento de ambientes para período futuro de 20 a 30 anos. A avaliação incluiu o potencial das tecnologias movidas a energia térmica nesse mercado, amplamente dominado pelo ciclo de compressão a vapor. A análise encontra-se restrita ao mercado residencial, caracterizado por equipamentos de pequena potência, porém com um número muito grande de aparelhos.

O questionário da primeira rodada foi elaborado utilizando perguntas abertas e listas não fechadas, seguindo recomendações de especialistas na metodologia. Os resultados e as contribuições obtidas foram relevantes para a continuidade e resultado do trabalho, confirmando os benefícios desse tipo de pergunta na primeira rodada.

A natureza interativa permitiu ao grupo gestor aperfeiçoar o questionário entre as rodadas, utilizando os dados apresentados nas respostas, nos comentários e nas ambiguidades não detectadas na elaboração e revisão inicial do questionário. O questionamento das respostas discrepantes não foi utilizado, em virtude da grande dispersão observada nos resultados. Na prática, a análise e o questionamento individual não são atividades simples.

As perguntas abordaram aspectos da aplicação e especificação de uma bomba de calor, incluindo ações que podem minimizar a necessidade de condicionamento de ar, as formas de retirada e rejeito de calor, a tecnologia utilizada e também a avaliação dos sistemas. A avaliação fracionada do sistema evidenciou os desafios em adaptar os padrões necessários para as tecnologias movidas a calor aos padrões atuais de construção.

O uso de perguntas na forma de matriz aumentou a complexidade do questionário, com possível contribuição para a taxa de desistência observada. A análise dos dados se apresentou mais complexa do que o inicialmente esperado, dificultando a análise e conclusão sobre os dados. As questões foram elaboradas com uma concepção qualitativa, contudo a informação de faixas de percentuais para cada alternativa conferiu um viés quantitativo. A limitação do número de opções aumentou a amplitude de cada faixa, o que contribuiu para a alta dispersão dos resultados avaliados quantitativamente. A dispersão dos

resultados e o número relativamente baixo de respostas não permitiu um segundo cruzamento entre as respostas.

As condições do estudo, o qual não considerou mudanças no sistema regulatório e se limitou ao mercado residencial podem ter contribuído para a estabilidade e o encerramento do estudo na segunda rodada. A similaridade das respostas dos especialistas que participaram apenas da segunda rodada e de todos os participantes da segunda rodada é uma constatação ainda não reportada nas referências pesquisadas e sugere um estudo posterior para a confirmação desse padrão. Acredita-se que esse padrão seja uma consequência da homogeneidade no perfil dos especialistas, obtido seguindo uma mesma metodologia.

O projeto do questionário utilizou a variável clima para identificar o participante. Os resultados não apresentaram diferenças significativas entre os climas, o que sugere uma aplicação global para a tecnologia a ser utilizada. Por outro lado, a variação dos resultados para um mesmo clima pode ser um reflexo de diferenças políticas, sociais, culturais e econômicas entre países com o mesmo tipo de clima e ter contribuído para a dispersão dos resultados observada.

O aspecto econômico aparece como o parâmetro mais importante para a comparação das tecnologias e dos sistemas, seguido pelo fator de desempenho sazonal. Esses resultados sugerem a necessidade de avaliar o sistema de forma ampla, e a necessidade de compatibilizar a viabilidade técnica com a econômica. A importância do fator econômico foi reforçada por aproximadamente 90% dos especialistas, que indicaram o custo como principal fator que poderia alterar de maneira significativa as respostas apresentadas. As mudanças nas políticas públicas foram citadas por cerca de metade dos participantes como elemento que poderia alterar as previsões informadas.

As políticas públicas podem privilegiar uma tecnologia em detrimento de outra. Os incentivos fiscais, creditícios e a taxação diferenciada de determinada tecnologia pode ser compreendida como um mecanismo de compensação de custos. Contudo, os resultados sugerem que existem limites para o uso desses mecanismos, que possivelmente estarão limitados a condições específicas de um determinado país.

Parte dos especialistas participou ou participa de projetos envolvendo os ciclos movidos termicamente. Essa concentração poderia influenciar os resultados da pesquisa pelos interesses pessoais e profissionais dos especialistas. Contudo, o ciclo de compressão de vapor ainda aparece como a tecnologia dominante no horizonte pesquisado, com expressivos 50% dos especialistas indicando essa como a tecnologia dominante, enquanto 30% apontaram a absorção como a principal tecnologia.

A tecnologia de compressão de vapor associada ao rejeito do calor diretamente para o ar ainda aparece como a configuração mais utilizada, mesmo num futuro de 20 a 30 anos. O ciclo de absorção apareceu como a tecnologia movida termicamente de maior probabilidade de presença nesse futuro avaliado. Esses resultados estão condizentes com a participação observada da energia solar térmica, associada aos ciclos de absorção e adsorção, e a solar fotovoltaica, associada ao ciclo de compressão de vapor. Ressalte-se que esses resultados são válidos apenas para o mercado residencial, e podem não refletir o comportamento de outros mercados, utilizações especiais ou nichos aonde as tecnologias de absorção ou adsorção venham a possuir maior participação.

O custo é, certamente, a principal barreira encontrada atualmente para a adoção das novas tecnologias. Ao vencer ou reduzir esta primeira barreira será necessário enfrentar outros desafios, como o preparo de toda uma cadeia para uma nova tecnologia, conforme pontuado por um especialista em sua observação colocada no questionário.

A utilização da energia solar térmica para o aquecimento de água é quase uma unanimidade e sua aplicação para o condicionamento de ar aparece em uma proporção muito menor. A adoção de sistemas para captar a energia solar térmica para uso nas residências pode catalisar a adaptação das arquiteturas para incorporar esses equipamentos e o acúmulo de água quente.

O incentivo para a adoção em massa da energia solar térmica para a produção de água quente sanitária e o aquecimento de residências pode ser uma etapa inicial necessária para a capacitação do mercado a operar essa forma de energia, necessária para o funcionamento do equipamento na hora em que ele normalmente será demandado.

O resultado deste trabalho, com consensos e discordâncias, apresentou o perfil dos sistemas de condicionamento ambiental em residências para o período futuro de

20 a 30 anos. A análise dos resultados e das condições aqui apresentadas deve servir como elemento adicional na avaliação, no planejamento ou na tomada de decisão, em especial para investimentos em pesquisa e desenvolvimento, mudanças na legislação ou redefinição de metas de desempenho e custos.

A avaliação conjunta das tecnologias reforçou a necessidade de considerar o potencial de evolução da tecnologia dominante atual no desenvolvimento de novas tecnologias. O desenvolvimento de uma tecnologia operada majoritariamente com energia renovável pode necessitar de uma escolha e concentração de esforços em apenas uma tecnologia.

8 TRABALHOS FUTUROS

Os resultados do estudo Delphi aqui apresentados indicam que o ciclo de compressão de vapor ainda será a tecnologia dominante no mercado residencial para o futuro probabilístico de 20 a 30 anos. Uma sugestão de trabalho futuro poderia ser um estudo de previsão tecnológica para os aparelhos de ar-condicionado elétricos residenciais, que devem passar por mudanças motivadas principalmente por pressões ambientais.

Um dos principais desafios para a tecnologia do ciclo de compressão de vapor é a mudança dos refrigerantes utilizados. Os refrigerantes atuais são sintéticos, em sua grande maioria, e possuem um potencial de efeito estufa elevado. A adoção de refrigerantes naturais se apresenta como uma solução potencial ao problema.

Os novos sistemas de maior porte, utilizados em edifícios comerciais, começam a incorporar funcionalidades para a economia de energia, como o fluxo de refrigerante variável e sistemas mais avançados de automação e controle. Assim, o estudo pode avaliar quando essas inovações estarão disponíveis para o mercado residencial.

O perfil de consumo de energia elétrica do Brasil gera uma situação específica, com consumo elevado de energia elétrica para aquecimento de água, refrigeração e condicionamento ambiental. Mesmo que se considere o uso da energia renovável para o aquecimento de água, ainda existe um potencial de sinergia entre os sistemas de condicionamento e refrigeração com o aquecimento de água das residências. Alguns trabalhos de eficiência energética com o uso de sistemas de duplo efeito, bombas de calor e ar condicionado, começam a se tornar uma realidade em grandes instalações comerciais e de hotelaria.

Identificar uma configuração de sistema e estratégias de controle com custo adequado para conciliar as necessidades das residências de aquecimento de água e condicionamento ambiental pode representar um impacto importante no consumo energético do setor residencial, além da redução do pico de demanda existente no final da tarde em função do intenso uso de chuveiro elétrico.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARROW, K. **The economic implications of learning by doing**. *The Review of Economic Studies* v.29, p. 155–173, 1962.

AUSTIN B.T., SUMATHY K. **Transcritical carbon dioxide heat pump systems: A review**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* v.15, p. 4013–4029, 2011.

BALARAS, C.A. et al. **Solar air conditioning in Europe—an overview**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* v.11, p. 299–314, 2007.

BEJAN, A. **Entropy generation through heat and fluid flow**, Wiley & Sons, Inc., USA, 1982. 248 p

BLUM, P. et al. **CO₂ savings of ground source heat pumps systems – A regional analysis**. *Renewable Energy* v.35, p.122–127, 2010.

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) – **Atlas de energia elétrica do Brasil** 3. ed. Brasília: Aneel, 2008.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). **Portaria nº 007, 04 de janeiro de 2011**. Disponível em <http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001655.pdf>. Acesso em 5 jul 2013.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia (MME) – **Matriz Energética Nacional 2030**, Ministério de Minas Energia: colaboração Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME, EPE, 2007.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia (MME) – **Plano Nacional de Energia 2030, V.11 – Eficiência Energética**, Ministério de Minas e Energia; colaboração Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME, EPE, 2007a.

BUDISCHAK, C. et al. **Cost-minimized combinations of wind power, solar power and electrochemical storage, powering the grid up to 99.9% of the time**. *Journal of Power Sources* v.225, p. 60-74, 2013.

CARRERA, D.G., MACK, A. **Sustainability assessment of energy technologies via social indicators: Results of a survey among European energy experts**, *Energy Policy*, v.38, p. 1030-1039, 2010.

CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO (CRESESB). **Potencial Energético Solar – SunData**. Disponível em <http://www.cresesb.cepel.br/sundata/index.php> Acesso em 25 jul 2013.

CHANG, W.S.; WANG, C.C.; SHIEH, C.C. **Design and performance of a solar-powered heating and cooling system using silica gel/water adsorption chiller**. Applied Thermal Engineering v. 29, p. 2100-2105, 2009.

CHEN, L. et al. **Exergy-based ecological optimization for a generalized irreversible Carnot heat-pump**. Applied Energy v.84, p. 78–88, 2007.

DEMIR, H., MOBEDI, M., ÜLKÜ, S. **A review on adsorption heat pump: Problems and solutions**. Renewable and Sustainable Energy Reviews v.12, p. 2381–2403, 2008.

ELETRÓBRÁS **Pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso – ano base 2005. Classe residencial, relatório Brasil**. Eletrobrás: Rio de Janeiro, 2007.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE) (Brasil) **Balço Energético Nacional 2011: Ano base 2010**. Empresa de Pesquisa Energética. – Rio de Janeiro: EPE, 2011.

EURELECTRIC - Union of the Electricity Industry **Power Statistics & Trends 2011 – Synopsis**. Brussels, BE: Eurelectric, 2011. Disponível em <http://www.eurelectric.org/PowerStats2011>. Acesso em 20 jul 2012.

EUROPA. Parlamento Europeu **Directiva 2002/91/CE relativa ao desempenho energético dos edifícios**. Jornal Oficial das Comunidades Europeias. Edição de 4 de Janeiro de 2003.

EUROPEAN COMMISSION **2020 – 2030 – 2050 – Common Vision for the Renewable Heating & Cooling sector in Europe**: European Technology Platform on Renewable Heating and Cooling. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2011.

EUROPEAN COMMISSION. Eurostat **Energy production and imports**. Disponível http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/index.php/Energy_production_and_imports Acesso em 16 dez 2011a.

EUROPEAN COMMISSION. Eurostat **Electricity Stats**. Disponível http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/index.php/Electricity_production_and_supply_statistics Acesso em 21 de Julho de 2013.

FANG, G. **Experimental investigation on the photovoltaic–thermal solar heat pump air-conditioning system on water-heating mode**, Experimental Thermal and Fluid Science v. 34, p. 736–743, 2010.

FONG, K.F. et al. **Comparative study of different solar cooling systems for buildings in subtropical city**. Solar Energy, v. 84, p. 277-244, 2010.

GARIMELLA, S. **Innovations in energy efficient and environmentally friendly space-conditioning systems**. Energy. v. 28, p. 1593-1614, 2003.

GLENN, J.C.; GORDON, T.J. **Futures Research Methodology** - Version 3.0 , The Millenium Project, CD, 2009.

GORDON, T. J.; HELMER, O. **Report on a long-range forecasting study**. Santa Monica, California, The RAND Corporation, September (Relatório Interno P-2982), 1964.

GROSSMAN, G. **Solar-powered systems for cooling, dehumidification and air-conditioning**. Solar Energy Vol. 72, No. 1, p. 53–62, 2002.

HEPBASLI, A. **A key review on exergetic analysis and assessment of renewable energy resources for a sustainable future**. Renewable and Sustainable Energy Reviews v. 12, p. 593–661, 2008.

INDÚSTRIAS TOSI **Catálogo Jelly Fish – Aquecimento de Água**. Disponível em: <http://www.industriastosi.com.br/> Acesso em 8 out 2012.

INFINITE INNOVATIONS **History and use of brainstorming**. Disponível em: <http://www.brainstorming.co.uk/tutorials/historyofbrainstorming.html>. Acesso em 21 nov 2012

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC) **IPCC Scoping meeting on Renewable Energy Sources**, Lübeck, Germany: IPCC, 2008.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA) Disponível em <http://www.iea-shc.org> Acesso em 9 jun 2011.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA) **Renewables for Heating and Cooling, Untapped Potencial**. Paris, FR: OECD/IEA, 2007.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA) **Technology Roadmap: Energy-efficient Buildings: Heating and Cooling Equipment**. Paris, FR: OECD/IEA, 2011.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA) **World Energy Outlook 2008**. Paris, FR: OECD/IEA, 2008.

JONES, H.; TWISS, B.C. **Previsão Tecnológica para Decisões de Planejamento**. Tradução: Azevedo, J.R.B. Rio de Janeiro: Zahar Editores, 1986.

JORDAN, R. A. **Desenvolvimento de uma bomba de calor água-água acionada a biogás para utilização em processos de aquecimento e resfriamento em sistemas de produção de leite**. Campinas, SP: Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, 2005. 286p. Tese (Doutorado).

KARAMANGIL, M.I., et. al. **A simulation study of performance evaluation of single-stage absorption refrigeration system using conventional working fluids and alternatives**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 14, p. 1969- 1978, 2010.

KIM, D.S.; INFANTE FERREIRA, C.A. **Solar refrigeration options – a state-of-the-art review**. International Journal of Refrigeration, v.31 p. 3 – 15, 2008.

KLERR, R. **Government R&D subsidies as a signal for private investors**, Research Policy v. 39, p. 1361-1374, 2010.

KUCHARAVY, D. DE GUIO, R. **Application Of S-Shaped Curves**. In: TRIZ-FUTURE CONFERENCE 2007: Current Scientific and Industrial Reality, Frankfurt: Germany, 2007.

LINSTONE, H.A., TUROFF, M. **Delphi: A Brief look backward and forward**, Technological Forecast and Social Change, 2010; article in Press.

LINSTONE, H.A.; TUROFF, M. **The Delphi Method – Techniques and Applications**, 2002. Disponível em <http://is.njit.edu/pubs/delphibook/> Acesso em 30 mai 2011.

LOSIEWICZ, P.; OARD, D. W.; KOSTOFF;R. N. **Textual Data Mining to Support Science and Technology Management**, Journal of Intelligent Information Systems, v.15, p. 99–119, 2000.

MAGRANER, T. et all. **Comparison between design and actual energy performance of HVAC-ground coupled heat pump system in cooling and heating operation**. Energy and Buildings v.42, p. 1394-1401, 2010.

MARTINS, F.R.; et. al. **Solar energy scenarios in Brazil, Part one: Resource Assessment**, Energy Policy, v.36, p. 2853-2864, 2008.

MODIS, T. **Fractal Aspects of Natural Growth**. Technological forecasting and social change v. 47, p. 63-73, 1994.

MOON, M.A.; MENTZER, J.T.; SMITH, C.D. **Conducting a Sales forecasting audit**. International Journal of Forecasting, v. 19 p. 5-25, 2003.

MOTHE, J.; CHRISMENT, C., DKAKI, T.; DOUSSET, B.; KAROUACH, S.; **Combining mining and visualization tools to discover the geographic structure of a domain**, Computers, Environment and Urban Systems v.30, p. 460–484, 2006.

NEMET, G. F. **Demand-pull, technology-push, and government-led incentives for non-incremental technical change**, Research Policy v.38, p. 700-709, 2009.

OMER, A.M. **Ground Source Heat Pump – system and applications**, Renewable and Sustainable Energy Reviews v. 12, p. 344-371, 2008.

PARK, S. **Quantitative analysis of network externalities in competing technologies: the VCR case**. The Review of Economics and Statistics. V. 84, p. 937 - 945, 2004.

PEEL, C.M., FINLAYSON, B.L., MACMAHON, T.A., **Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification**, Hydrol. Earth Syst. Sci., v.11, p. 1633–1644, 2007.

PONS, M., et al. **Thermodynamic based comparison of sorption systems for cooling and heat pumping**. International Journal of Refrigeration v.22, p. 5-17, 1999.

PORTER, A. L. et al. **Technology futures analysis: Toward integration of the field and new methods**, Technological Forecasting and Social Change v.71, p. 287-303, 2004.

PORTER, M.E. **How Competitive Forces shape Strategy**. In: SMIT, J.P. Strategic Planning Readings. Cape Town, South África: Creda Communications, 1999.

R718 **Everything R718** Disponível em <http://www.r718.com>. Acesso em 20 fev 2012

RAVETZ, J. **State of the stock — what do we know about existing buildings and their future prospects?** Energy Policy v.36, p. 4462–4470, 2008.

ROWE, G.; WRIGHT, G. **The Delphi technique as a forecasting tool: issues and analysis**, International Journal of Forecasting v. 15, p. 353-375, 1999.

SADLER-SMITH, E., **The Intuitive Mind: Profiting from the Power of Your Sixth Sense**, John Wiley and Sons, 2009 - 324 páginas. Disponível em http://books.google.com/books?id=I5ihWTphxS8C&hl=pt-BR&source=gbs_navlinks_s
Acesso em 6 mar 2011:

SANT'ANA, P.H.M, **Análise prospectiva de tecnologias de energia: validação e análises de uma consulta Delphi com especialistas do Brasil**. Campinas, SP: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2005. 170p. Dissertação (Mestrado)

SANTOS, M. M.; COELHO, G. M.; SANTOS, D. M.; FILHO, L. F. **Prospecção de tecnologias de futuro: métodos, técnicas e abordagens**. In: Parcerias Estratégicas, n. 19, Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, Dezembro, 2004

SCIENCE DIRECT. Disponível em www.sciencedirect.com. Acesso em 15 nov 2012

SOLAIR-PROJECT **SOLAIR Guidelines:Requirements on the Design and configuration of small and médium sized solar air-conditioning applications**, 2009. Disponível em <http://www.solair-project.eu>. Acesso em 20 dez 2012.

SOOD, A.; Tellis, G.J. **Technological Evolution and Radical Innovation**. Journal of Marketing. Vol. 69, p. 152–168, 2005.

STIEBEL ELTRON Disponível em <http://www.stiebel-eltron.de/>. Acesso em 15 nov 12

TORIO, H., ANGELOTTI, A., SCHMIDT, D. **Exergy analysis of renewable energy-based climatisation systems for buildings: A critical view.** Energy and Buildings v.41 p. 248–271, 2009.

UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAM (UNDP) **World Energy Assessment: Energy and the Challenge of Sustainability.** Washington, USA: UNDP, 2000.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAM (UNEP) **Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer** Disponível em http://ozone.unep.org/new_site/en/Treaties/treaty_text.php?treatyID=2 – Acesso em 12 dez 2011.

USA - DEPARTMENT OF ENERGY (US-DOE). **2009 Buildings Energy Data Book,** Silver Spring, USA: DOE, 2009

USA - DEPARTMENT OF ENERGY (US-DOE). **Energy Savings through Improved Mechanical Systems and Building Envelope Technologies.** Funding Opportunity Announcement: DE-FOA-0000621. Disponível em <https://eere-exchange.energy.gov/Default.aspx?Search=621&SearchType>. Acesso em 20 jun 2012.

USA - ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION (US-EIA) **Electric Power Annual 2009.** Washington DC: Department of Energy, USA, 2011. Disponível em http://www.eia.gov/cneaf/electricity/epa/epa_sum.html Acesso em 14 mai 11.

USA - ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION (US-EIA) **Renewable Energy Consumption and Electricity Preliminary 2006 Statistics.** Disponível em : http://www.eia.gov/cneaf/solar.renewables/page/prelim_trends/rea_prereport.html Acesso em 03 mai 2012.

VIDAL, H.; ESCOBAR, R.; COLLE, S. **Simulation and optimization of a solar driven air conditioning system for a house in Chile.** Anais do ISES Solar World Congress: Renewable Energy Shaping our Future, 2009.

WANG, R.Z. et al. **Solar sorption cooling systems for residential applications: Options and guidelines.** International Journal of Refrigeration. V.32, p. 638-660, 2009.

WATERFURNACE **How it works: geothermal energy.** Disponível em <http://www.waterfurnace.com/how-it-works.aspx>. Acesso em 5 jul 2013.

WIESENTHAL, T. et al , **Bottom-up estimation of industrial and public R&D investment by technology in support of policy-making: The case of selected low-carbon energy technologies.** Research Policy v. 41, p. 116-131, 2012.

WOON, W. L.; ZEINELDIN, H.; MADNICK, S. **Bibliometric analysis of distributed generation,** Technological Forecasting & Social Change, v.78, p. 408-420, 2011

WRIGHT, J.T.C., GIOVINZAZZO, R.A., **Delphi – Uma Ferramenta de Apoio ao Planejamento Prospectivo**, Caderno de Pesquisas em Administração, v.01, n. 12, p.54-65, 2000.

XIAOWU, W. **Exergy analysis of domestic-scale solar water heaters**. Renewable and Sustainable Energy Reviews v.9, p. 638–645, 2005.

ZEMANSKY, M. W. **Calor e Termodinâmica**. Tradução: Preda, B.C.P. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1978.

10 ANEXO A – REVISÃO TERMODINÂMICA

A termodinâmica é a área do conhecimento científico que estuda a relação entre calor, trabalho, energia e a conversão de energia. As suas leis e postulados são frutos da observação experimental e buscam entender como e por que os processos ocorrem. Esse tema é estudado em diversas publicações. Zemanski, em seu livro Calor e Termodinâmica coloca uma definição com perspectiva prática e de engenharia: “A termodinâmica deve sua origem à tentativa em converter calor em trabalho e ao desenvolvimento da teoria de operação de dispositivos para estas finalidades” (ZEMANSKY, 1978).

Os estudos termodinâmicos avaliam um universo conhecido e limitado, chamado “sistema”. O sistema encontra-se cercado pelo “ambiente”, que é o espaço ou um sistema externo ao de interesse. A separação entre esses dois elementos, sistema e ambiente, é chamada de “fronteira” que pode receber denominações específicas em função da sua permeabilidade, ou não, a transferências de massa, calor e trabalho.

- Quanto à troca de massa:
 - Sistema fechado: em que há conservação de massa, não existe troca de massa entre ambiente e sistema.
 - Sistema aberto: em que existe a troca de massa entre ambiente e sistema.
- Quanto à troca de calor.
 - Sistema adiabático: em que a fronteira não permite a troca de energia.
 - Sistema diatérmico: em que a fronteira permite a troca de energia na forma de calor entre o ambiente e o sistema.
- Quando não há qualquer influência do ambiente sobre o sistema:
 - Sistema isolado

Na prática, os sistemas sempre possuem alguma interação com o ambiente. Se o estado se modifica, geralmente ocorrem ações mútuas entre o sistema e o ambiente.

10.1 Equilíbrio e coordenadas termodinâmicas

Uma característica dos sistemas é a busca do equilíbrio interno e com o ambiente que os cerca nas dimensões mecânica, química e térmica. A termodinâmica clássica não se preocupa com a velocidade desse processo, apenas com os estados inicial e final. Apesar de estudos termodinâmicos justificarem transformações microscópicas, as propriedades termodinâmicas utilizam grandezas macroscópicas, como temperatura, pressão, massa, composição e volume.

Quando não existe nenhum desequilíbrio de forças entre o sistema e o ambiente, ou mesmo dentro do sistema, diz-se que o sistema está em “equilíbrio mecânico”.

Quando um sistema em equilíbrio mecânico não tende a sofrer mudança em sua estrutura interna, na forma de dissolução ou reação química, diz-se que ele se encontra em “equilíbrio químico”.

O “equilíbrio térmico” de sistemas adiabáticos é alcançado quando o sistema possui uma temperatura uniforme ou quando, nos sistemas com parede diatérmica, sua temperatura é homogênea e igual à do ambiente.

Enquanto essas condições não estiverem satisfeitas, o sistema sofrerá uma mudança de estado que continuará até que o equilíbrio seja alcançado. Quando as três condições de equilíbrio são alcançadas, o sistema é descrito como num estado de “equilíbrio termodinâmico”.

Os estados de “equilíbrio termodinâmico” podem ser descritos em função de coordenadas macroscópicas, chamadas “coordenadas termodinâmicas”, em que a dimensão tempo não é considerada.

Para um sistema fechado e em equilíbrio, com uma determinada massa e composição, as coordenadas termodinâmicas usuais são: volume, temperatura, pressão. Por outro lado, essas coordenadas não são independentes. Ao fixar duas dessas variáveis, a terceira é acomodada de forma a buscar o equilíbrio, e para cada estado de equilíbrio existe um conjunto de coordenadas termodinâmicas. As expressões matemáticas que definem a relação entre as variáveis termodinâmicas nas infinitas condições de equilíbrio possíveis são chamadas “equações de estado”. Essas equações são deduções baseadas na teoria molecular e no conhecimento experimental.

10.2 A primeira Lei da Termodinâmica

Considere um sistema fechado, Figura 10-1, cuja fronteira permite a transferência de calor e trabalho. Por convenção, todo o trabalho exercido pelo sistema, ou que sai deste, é considerado positivo, e toda a energia que entra no sistema é positiva.

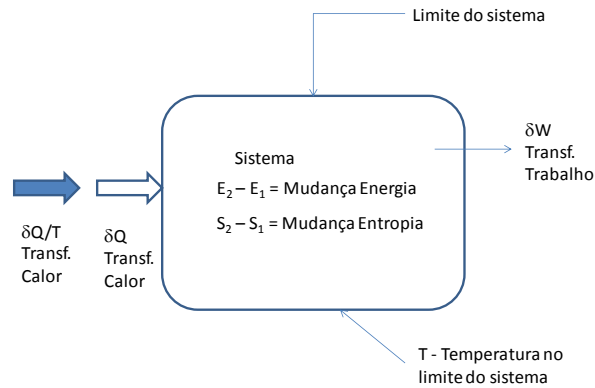


Figura 10-1 Sistema termodinâmico fechado e suas interações com o ambiente

Fonte: BEJAN, 1982

Considerando que o sistema sai de um estado de equilíbrio 1 para o estado de equilíbrio 2, pode-se escrever a primeira lei da termodinâmica, como na equação 1:

$$\int_1^2 \delta Q - \int_1^2 \delta W = E_2 - E_1 \quad (1)$$

O lado esquerdo corresponde à transferência de energia para o sistema, enquanto o lado direito corresponde à mudança de energia do sistema. Essa equação descreve a primeira lei da termodinâmica, denominada em algumas referências como a lei da conservação da energia, ou seja: a energia não é destruída, apenas transferida.

A equação 1 foi descrita na forma de integral para ressaltar que a quantidade de calor e trabalho transferidos depende do caminho. Por outro lado, a variação da Energia (E_1 e E_2) é uma propriedade do sistema, depende apenas das condições de equilíbrio nos estados 1 e 2. Outros exemplos de propriedade de sistema são: pressão, temperatura e variação de entropia. A transferência de calor e trabalho são grandezas que dependem do caminho (processo), não sendo classificadas propriedades termodinâmicas.

10.3 Trabalho e Calor

O calor é energia em trânsito que flui pelo sistema e pela sua fronteira em virtude de uma diferença de temperatura. Ao atingir o equilíbrio térmico e, assim, terminar esse fluxo, não há mais sentido no uso desse termo.

Nos sistemas fechados, o trabalho e o fluxo de calor são interações com o ambiente que alteram a energia interna do sistema. Ao considerarmos que os fluxos de calor e trabalho ocorrem de tal forma que a energia interna do sistema não se altera, concluímos, pela equação 1, que calor é igual a trabalho. Assim, seria possível realizar infinitas conversões de calor em trabalho, e vice-versa, com eficiência de 100%.

Uma série de exemplos práticos mostra a conversão do trabalho em calor. Um tanque recebendo o trabalho por meio de um agitador produz um aumento da temperatura do sistema, se a parede do tanque for adiabática, ou a dissipação de energia sob a forma de calor pelas paredes, se a parede for diatérmica.

A conversão de calor em trabalho não possui exemplos diretos, sendo necessário executar mais de uma etapa, retornando o sistema a sua condição inicial, ou seja, executando um ciclo. Os dispositivos que operam a conversão de calor em trabalho são chamados de “máquinas térmicas” e operam conforme a Figura 10-2.

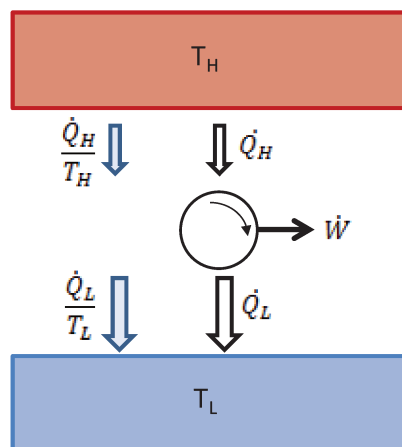


Figura 10-2 - Máquina térmica

Fonte: BEJAN, 1982

Para descrever os ciclos serão adotadas as seguintes denominações:

- Q_H – Calor absorvido pelo sistema
- Q_C – Calor cedido pelo sistema
- W – Trabalho realizado pelo sistema

Podemos definir a eficiência térmica do ciclo como:

$$Eficiência = \frac{Trabalho\ Produzido}{Calor\ absorvido}$$

$$\eta = \frac{W}{Q_H} \quad (2)$$

Considerando que não houve mudança na energia do sistema e aplicando a primeira lei:

$$Q_H - Q_C = W \quad (3)$$

Portanto:

$$\eta = \frac{Q_H - Q_C}{Q_H} \quad (4)$$

$$\eta = 1 - \frac{Q_C}{Q_H} \quad (5)$$

Dessa forma pode-se deduzir que a eficiência desse ciclo só será 100% se o calor cedido pelo sistema (Q_C) for igual a 0, o que não ocorre na prática, o que é expresso pela segunda lei da termodinâmica.

10.4 A segunda Lei da Termodinâmica

A segunda lei da termodinâmica foi postulada por diferentes pesquisadores, utilizando terminologias similares e que, fundamentalmente, expressam a impossibilidade de se obter uma máquina térmica operando um ciclo com 100% de eficiência.

Pode-se citar o enunciado segundo Kelvin: “É impossível por meio de um agente material inanimado obter efeitos mecânicos de qualquer proporção de matéria por resfriamento desta abaixo da temperatura dos objetos mais frios que a circundam”, ou Plank: “é impossível construir uma máquina que, executando um ciclo completo, não

produza outro efeito além do levantamento de um peso e resfriamento de um reservatório de calor”, ou um somatório dos dois: “Nenhum processo, cujo único resultado seja a absorção de calor de um reservatório e a conversão deste calor em trabalho, é possível”, ou como citado por Zemansky (1978): “Ainda não se desenvolveu uma máquina com capacidade de converter o calor extraído de um reservatório em trabalho sem rejeitar algum calor para outro reservatório a uma temperatura mais baixa”.

A perda de energia durante a transformação faz com que o processo não possa retornar ao seu estado original, tornando-o irreversível. O grau de irreversibilidade do sistema é representado pela Entropia.

A transferência de entropia, $\partial Q/T$, ocorre pela transferência de calor. Como conceito, a transferência de entropia é distinta da transferência de calor e trabalho e apenas a transferência de energia na forma de calor é acompanhada da transferência de entropia. A transferência de trabalho não é acompanhada de transferência de entropia (BEJAN, 1982).

Considerando o mesmo sistema da Figura 10-1, é possível expressar a segunda lei como:

$$\int_1^2 \frac{\partial Q}{T} \leq S_2 - S_1 \quad (6)$$

A essência dessa expressão está na desigualdade (\leq) da equação 6. A forma integral indica que a mudança do estado 1 para o 2 pode ser realizada por diferentes caminhos.

O caminho ideal, chamado de reversível, corresponde à igualdade da equação, no qual não há geração de entropia. Podemos representar a geração de entropia como:

$$S_{gen} = S_2 - S_1 - \int_1^2 \frac{\partial Q}{T} \geq 0 \quad (7)$$

A geração de entropia depende do caminho, portanto, não é uma propriedade termodinâmica, e não deve ser confundida com variação da entropia ($S_2 - S_1$).

Outro significado para a geração de entropia é a destruição de energia útil. O teorema de Gouy-Stodola estabelece que a perda do trabalho disponível seja diretamente proporcional à produção de entropia. A proporcionalidade entre perda de trabalho disponível e a geração de entropia depende das características do sistema de interesse (BEJAN, 1982).

Bejan (1982), no seu livro *Entropy generation through heat and fluid flow*, destaca que processos de transferência de calor são inerentemente irreversíveis, geradores de entropia e destruidores de energia útil. Em sua visão, a termodinâmica, em especial a geração de entropia, deveria assumir papel principal nos estudos de transferência de calor.

10.5 Ciclos de trabalho – eficiência de Ciclo

Carnot, ao estudar as máquinas térmicas, desenhou uma máquina como a descrita na Figura 10-3 operando entre dois reservatórios de calor com temperaturas conhecidas T_H e T_C . O calor é absorvido à temperatura constante do reservatório quente, T_H , seguido de uma expansão adiabática, depois o calor é cedido à temperatura constante do reservatório frio, T_C , e por fim uma compressão adiabática completa o ciclo. Dado que cada um dos processos é reversível, seu ciclo também será reversível.

Como definido na equação 5:

$$\eta = 1 - \frac{Q_C}{Q_H} \quad (8)$$

Se o ciclo é reversível, não há geração de entropia, o que significa que:

$$\frac{Q_C}{T_C} = \frac{Q_H}{T_H} \quad (9)$$

Ou

$$\frac{Q_C}{Q_H} = \frac{T_C}{T_H} \quad (10)$$

Substituindo na equação 5:

$$\eta_{Carnot} = 1 - \frac{T_C}{T_H} \quad (11)$$

A eficiência definida pela equação 11 corresponde à melhor eficiência possível para uma máquina térmica operando entre dois reservatórios de temperaturas conhecidas.

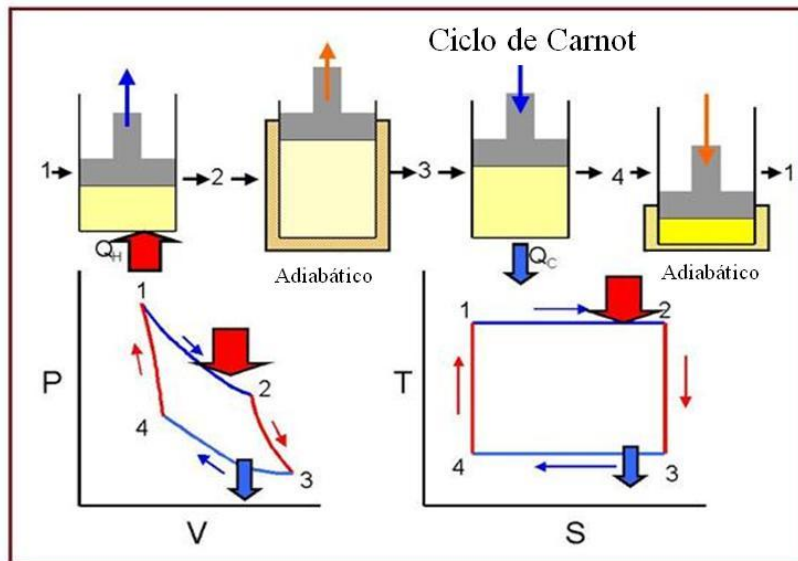


Figura 10-3 - Ciclo de Carnot

Fonte: Adaptado de <http://aliceincxland.blogspot.com/2010/04/ciclo-de-carnot.html>

10.6 Máquinas térmicas e refrigeradores

Uma representação gráfica de uma máquina térmica e a dos conceitos expressos anteriormente estão representadas na Figura 10-4, em que é possível identificar a perda de trabalho útil, se este fosse realizado em um ciclo reversível, como aumento no calor dissipado no reservatório de menor temperatura.

A representação indica, também, que as temperaturas a serem utilizadas nessas equações estão na escala Kelvin, onde o zero K corresponde à temperatura zero absoluta.

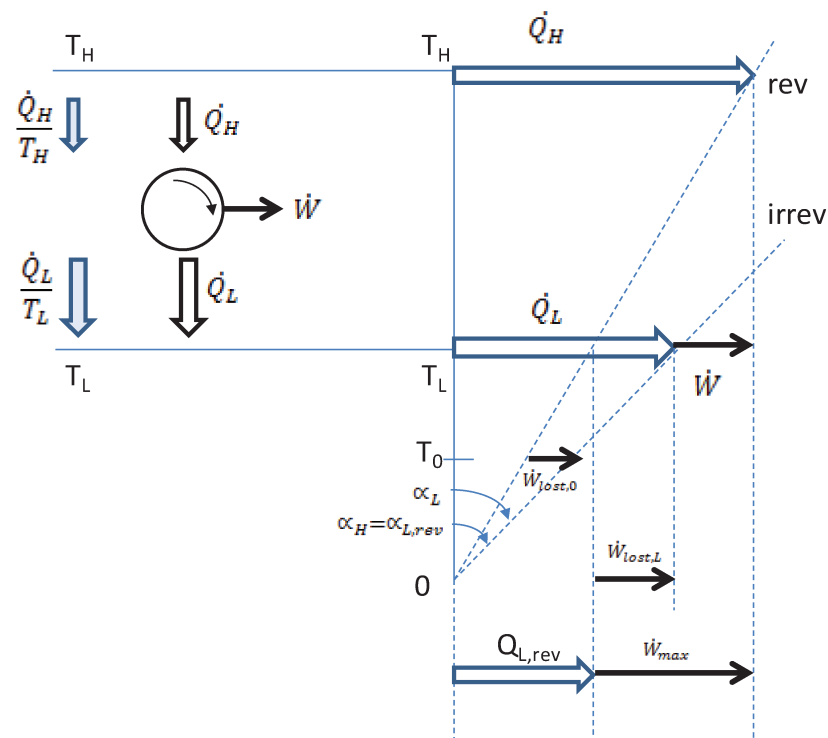


Figura 10-4 - Representação de máquina térmica e geração de entropia

Fonte: BEJAN, 1982

Em termos analíticos, da primeira lei da termodinâmica temos:

$$\dot{Q}_H - \dot{Q}_L - \dot{W} = 0 \quad (12)$$

Aplicando a segunda lei da termodinâmica:

$$S_{gen} = \frac{\dot{Q}_L}{T_L} - \frac{\dot{Q}_H}{T_H} > 0 \quad (13)$$

Graficamente está representada na Figura 10-4 a influência da temperatura da fonte fria, T_L , na irreversibilidade do sistema. Pode-se verificar que, para uma temperatura $T_0 < T_L$, a perda de trabalho útil é menor, tendendo a zero à medida que nos aproximamos do zero absoluto.

Como descrito anteriormente, esse tipo de máquina térmica possui uma eficiência limitada pela eficiência de Carnot, equação 11.

Para o objeto de estudo desta dissertação, a máquina térmica de interesse são as bombas de calor e refrigeradores. Nesses dispositivos cria-se mediante trabalho uma temperatura menor que a desejada para a fonte fria e rejeita-se o calor a uma temperatura superior à temperatura da fonte quente, criando um fluxo de calor em sentido inverso ao natural, movendo o calor da fonte mais fria para a fonte mais quente.

As diferentes denominações são definidas a esses equipamentos em função do objetivo, aquecer um corpo a partir de outro mais frio, ou pela temperatura que se deseja atingir na fonte fria.

A Figura 10-5 traz a representação de um ar-condicionado operando com uma carga fixa Q_L . Essa representação demonstra a influência da diferença de temperatura no trabalho mínimo necessário para que o fluxo de calor saia da fonte fria e seja descartado na fonte quente. De forma similar pode ser observado o impacto das irreversibilidades no trabalho requerido e também no aumento do calor a ser dissipado na fonte quente.

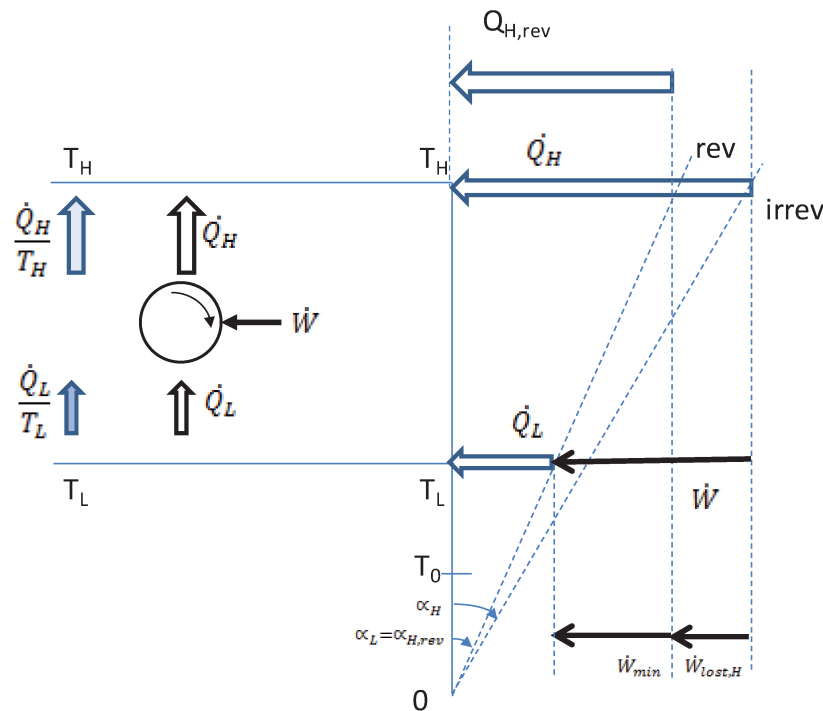


Figura 10-5 - Representação de refrigerador e geração de entropia

Fonte: BEJAN, 1982

Para medir a eficiência desse ciclo foi definido o COP – *coefficient of performance*, ou coeficiente de desempenho:

$$COP = \frac{\text{Calor retirado}}{\text{Trabalho empregado}}$$
$$COP = \frac{Q_C}{W} \quad (14)$$

De forma análoga à máquina térmica temos ao aplicar a primeira lei:

$$Q_H = Q_C + W \quad (15)$$

Considerando um ciclo reversível:

$$\frac{Q_C}{T_C} = \frac{Q_H}{T_H} \quad (16)$$

Portanto: para um refrigerador

$$COP_{real} = \frac{Q_C}{Q_H - Q_C} = \frac{1}{\frac{Q_H}{Q_C} - 1} \quad (17)$$

$$COP_{ideal} = \frac{T_C}{T_H - T_C} \quad (18)$$

Para uma bomba de calor:

$$COP_{real} = \frac{Q_H}{Q_H - Q_C} \quad (19)$$

$$COP_{ideal} = \frac{T_H}{T_H - T_C} \quad (20)$$

As equações 18 e 20 mostram que, ao contrário da eficiência de uma máquina térmica, o COP ideal não está limitado a uma unidade.

Um segundo tipo de bomba de calor considerado nesta dissertação utiliza calor como força motriz. Tal equipamento opera a partir de uma fonte quente (T_H), retirando calor de uma fonte fria (T_C) e dissipando essa energia no ambiente (T_A). É

possível, de forma similar avaliar o ciclo e obter o COP_{ideal} desse ciclo, como (SOLAIR-PROJECT, 2009):

$$COP_{ideal} = \frac{T_C}{T_H} * \left(\frac{T_H - T_A}{T_A - T_C} \right) \quad (21)$$

10.7 Exergia e a destruição do trabalho útil

O valor do coeficiente de desempenho das bombas de calor e refrigeradores não está limitado à unidade. Dessa forma, apesar de sua aparente semelhança ao cálculo da eficiência de uma máquina térmica, o seu resultado não traz uma perspectiva de eficiência no uso da energia e não corresponde a um indicativo de desempenho a sua eficiência conforme a segunda lei da termodinâmica, ou a geração de entropia.

Como definido anteriormente, a geração de entropia está relacionada com as irreversibilidades e a destruição da energia útil. A evolução desse conceito resultou na propriedade termodinâmica “exergia”, que corresponde à energia utilizável ou disponível e cujo termo não possui tradução.

A definição de energia termodinâmica possui como referência o nível zero de energia, definido como temperatura zero absoluto, ou 0 K. Este nível de energia é uma referência teórica. Na prática, as avaliações de energia útil para geração de trabalho necessitam de uma temperatura e pressão de referência próxima às condições encontradas na superfície da terra ou do ambiente, usualmente $T_0 = 298,2K$ e $P_0 = 1 \text{ atm}$.

Com o uso do conceito de exergia é possível avaliar a quantidade de energia útil utilizada para a execução do trabalho. Por avaliar potencial de trabalho e energia, sua utilização não é possível para sistemas fechados e em equilíbrio, pois estes não possuem potencial de gerar trabalho, exergia zero.

As análises clássicas da eficiência energética e eficiência do processo contemplam as entradas, saídas e perdas do sistema. A avaliação utilizando o conceito de exergia pondera a qualidade da energia disponível fornecida e nos fluxos que deixam o volume de controle. Esse tipo de análise traz uma nova concepção: avaliar a qualidade da

fonte em função do objetivo (uso). A análise da eficiência exergética avalia a perda de energia útil e geração de entropia.

A exergia avalia a soma das várias formas de energia: energia térmica, cinética, potencial e química, calculadas em função do estado de referência, definido como condição em que o potencial de realização de trabalho é nulo.

De uma forma simplificada, a eficiência exergética pode ser definida como:

$$\text{Eficiência Exergética} = \frac{\dot{Ex}_{out}}{\dot{Ex}_{in}} = 1 - \frac{\dot{Ex}_{dest}}{\dot{Ex}_{in}}$$

Diversos autores consideram e avaliam os sistemas sob a ótica da exergia. Xiaowu (2005) avaliou o sistema e seus componentes, buscando identificar onde ocorrem as maiores irreversibilidades e assim direcionar os esforços para otimização do sistema. Torio (2009) relaciona exergia com a qualidade da energia, e o uso racional com a qualidade da fonte escolhida com o uso pretendido. Chen (2007) propõe uma otimização que ele denominou como “ecológica”, buscando a redução da geração de entropia considerando as perdas por operação e como um compromisso entre a taxa de saída de exergia e a perda de exergia, que pode ser interpretado como geração de entropia.

Pons (1999) correlaciona a eficiência exergética com eficiência termodinâmica para bombas de calor de absorção. A avaliação da eficiência exergética ocorre pela relação entre COP real e COP ideal, considerando o ciclo de Carnot:

$$\varepsilon = \frac{COP}{COP_{Carnot}}$$

Na publicação SOLAIR (2009), essa relação é chamada de índice de qualidade do processo. Hepbasli (2008) traz uma coleção bastante abrangente de análises exergéticas envolvendo sistemas movidos a energias renováveis.

ANEXO B – Questionário primeira rodada

Questions marked with an * are required

Thank you for start your participation in our survey. Your opinion is very important!

We remind you that your participation in this study is entirely voluntary. There are no foreseeable risks associated to this survey. However, you can withdraw from the study at any time if, by any reason, you should feel uncomfortable answering any of the questions. On the other hand, you should know that your opinion is very important! After consolidating the data, you will receive a report with the results. Your answers and data will be treated in a strictly confidential procedure. All data and answers will be reported exclusively in the aggregate or in statistical figures.

When answering the questionnaire, please consider the following conditions:

- Residential use, dwellings and apartments, and systems with capacity up to 10kW (or approximately 34000 BTU/h),
- Primary electrical energy is the energy supplied by the existing electricity grid.
- Consider only one climate when answering the questions (the one from your area).
- Consider a probabilistical future of 20 to 30 years.
- There will be no political changes, neither regulatory nor of incentive schemes.
- Consider equipment working life from 10 to 20 years.

Please enter your main working filiation *

- University
- Government agency/Public policies
- Private Company
- NGO – Nongovernmental Organizations
- Interested or partly involved in the theme
- Other (specify)

Please answer what best describe your experience in this field *

- Expert (research in related areas within the last 3 years)
- High knowledge (e.g. system application, development, Government Agencies)
- Some knowledge
- Interested in the subject



What is the climate of your region according to Köppen-Geigner classification? *

- Tropical
- Arid
- Temperate dry Summer
- Temperate humid Summer
- Cold

What is the reduction potential (%) of grid electricity consumption by HVAC system of dwellings and apartments in a period of 20-30 years as a result of the following actions in comparison with actual consumption?

	0-20%	21-40%	41-60%	61-80%	>81%
Better construction standards, insulation and architecture	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Refurbishment of actual constructions	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
System integration (automation and control)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Associations with renewable energy	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

In a 20-30 year future, what participation the following technologies will have in the cold distribution (withdraw of excess heat)?

	Very high >85%	High 61 - 85%	Medium 41 - 60%	Low 11 - 40%	Very low <10%	N/A
Cold water / Cold ceiling *	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Local evaporator (ductless) *	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Open cycle (Evaporative / desiccant) *	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Fan coil/Air handling units *	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Under floor distribution *	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Other: *	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Please specify "other" technology:

How much would be the market share for the following local Renewable Energy Association as source of energy to HVAC equipments, in the 20-30 year future?

	Very high >85%	High 61 - 85%	Medium 41 - 60%	Low 11 - 40%	Very low <10%	N/A
Photovoltaic *	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Wind energy *	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Bio-fuel motor *	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Bio-fuel - thermal *	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Solar thermal *	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Other *	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Please inform which "other" renewable you refer to.

In a 20-30 year horizon, how do you foresee the market share of the following technologies for air-conditioning?

	Very high >85%	High 61 - 85%	Medium 41 - 60%	Low 11 - 40%	Very low <10%	N/A
Adsorption *	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Absorption *	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Open cycle *	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Vapor compression *	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Other *	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>

Please enter "other" technology:

For a 20-30 year horizon, how do you foresee the market share of the following heat rejection options?

	Very high >85%	High 61 – 85%	Medium 41 – 60%	Low 11 – 40%	Very low <10%
Cooling tower	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Geothermal heat exchanger	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Thermal reservoir, e.g. river, pool etc.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Air	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Other	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Please enter the "other" rejection option:

In your opinion, in a 20-30 year future, how present the solar thermal energy will be in the following applications?

	Very present >85%	Present 61 – 85%	Some application 21 – 60%	Rarely <20%
Space heating	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Air conditioning	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Domestic hot water	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Combined: Space heating, water heating and air conditioning	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

In your opinion, choose the level of importance of the following performance parameters to evaluate the heat pump performance:

	Very high	High	Medium	Low	Very low	N/A
COPel – Wcool/ Wel *	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
COPth – Wcool/ Wth *	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
COPsys – Wcool/ Wtotal *	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Investment and operational cost *	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Exergy efficiency *	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Process Quality Index (COPsys/COP ideal) *	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Other *	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>

Please enter the "other" performance parameter: 

What are the potential uses of polymeric material as a cost reduction option in substitution of metallic components in HVAC systems? *

- High
- Medium
- Low
- Very low
- No new application

In your opinion, what factor or scenario changing could alter your answers in a significant level?

In your opinion, is there any aspect or relevant theme that should be addressed by this questionnaire?

Delphi Survey - HVAC and Renewables

Questões marcadas com * são obrigatórias.

ANEXO C – Carta convite primeira rodada.

Survey Invitation - HVAC and Renewable Energy

Página 1 de 1

De: "Antonio Carlos Ventilii Marques" <ventilii@feq.unicamp.br>
Assunto: Survey Invitation - HVAC and Renewable Energy
Data: Seg, Julho 30, 2012 2:15 am
Para: ventilii@feq.unicamp.br

Dear Mr(s),

We would like to invite you to participate in our Technological Forecast Study about: "The uses of renewable energy in Heating, Ventilation and Air-conditioning systems - HVAC" using the Delphi methodology. The objective is to evaluate the future technological developments and trends in medium-long term (20 to 30 years). Furthermore, there is the intention that this study might be used as information on future research or review of research policies. It should take about 10 minutes to answer the questionnaire.

Please click in the link to start.
<http://questionpro.com/t/CN3CMZIsb17>

If you have any questions about the procedure or the research itself, you may contact me at ventilii@feq.unicamp.br or by phone: +55-19-9701-8462, or Dr. Wagne dos Santos Oliveira at: oliveira@feq.unicamp.br.

Best Regards

Antonio Carlos Ventilii Marques
DTP/FEQ- UNICAMP - State University of Campinas

This email was sent to ventilii@feq.unicamp.br on behalf of:

Antonio Carlos Ventilii Marques
UNICAMP
Av. Albert Einstein, 500
Cidade Universitária Zeferino
Campinas, SP 13083-052
Brazil

Unsubscribe:
<http://www.questionpro.com//a/unsubscribeEmail.do?id=167356788>

Report Abuse:
<http://www.questionpro.com/a/rptabuse/1-120626887-2030902-167356788>

ANEXO D – Lembrete da primeira rodada

Survey Reminder - HVAC and Renewable Energy

Página 1 de 1

De: "Antonio Carlos Ventilii Marques" <ventilii@feq.unicamp.br>
Assunto: Survey Reminder - HVAC and Renewable Energy
Data: Dom, Agosto 19, 2012 8:32 pm
Para: ventilii@feq.unicamp.br

Dear Mr(s),

We would like to remind you to participate in our Technological Forecast Study about: "The uses of renewable energy in Heating, Ventilation and Air-conditioning systems - HVAC" using the Delphi methodology. The objective is to evaluate the future technological developments and trends in medium-long term (20 to 30 years). Furthermore, there is the intention that this study might be used as information on future research or review of research policies. It should take about 10 minutes to answer the questionnaire.

Please click in the link to start.
<http://questionpro.com/t/CN3CMZIsb4I>

If you have any questions about the procedure or the research itself, you may contact me at ventilii@feq.unicamp.br or by phone: +55-19-9701-8462, or Dr. Wagne dos Santos Oliveira at: oliveira@feq.unicamp.br.

Best Regards

Antonio Carlos Ventilii Marques
DTP/FEQ- UNICAMP - State University of Campinas

This email was sent to ventilii@feq.unicamp.br on behalf of:

Antonio Carlos Ventilii Marques
UNICAMP
Av. Albert Einstein, 500
Cidade Universitária Zeferino
Campinas, SP 13083-052
Brazil

Unsubscribe:
<http://www.questionpro.com//a/unsubscribeEmail.do?id=167356921>

Report Abuse:
<http://www.questionpro.com/a/rptabuse/1-120627020-2030902-167356921>

ANEXO E – Questionário da segunda rodada

Questions marked with an * are required

Thank you for starting your participation in our survey. Your opinion is very important!

In the following pages you will find statistical figures from the first round, that was sent in the end of July/2012. We would like to ask you to revise your answers, while knowing the average opinion of other experts.

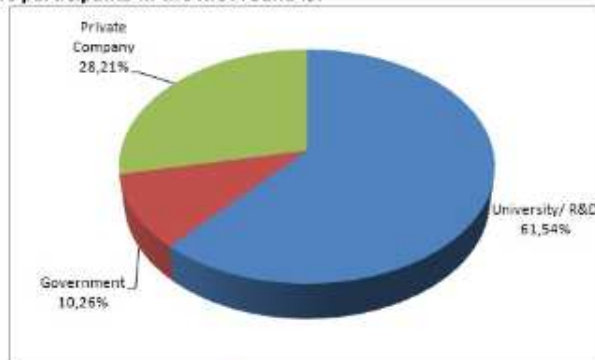
After consolidating the data, you will receive a report with the results. Your answers and data will be treated in a strictly confidential procedure. All data and answers will be reported exclusively in the aggregate or in statistical figures.

When going through the questionnaire, please remember the following conditions:

- Residential use, dwellings and apartments, and systems with capacity up to 10kW (or approximately 34000 BTU/h),
- Primary electrical energy is the energy supplied by the existing electricity grid.
- Consider only one climate when answering the questions (the one from your area).
- Consider a probabilistical future of 20 to 30 years.
- There will be no political changes, neither regulatory nor of incentive schemes.
- Consider equipment working life from 10 to 20 years.

We remind you that your participation in this study is entirely voluntary. There are no foreseeable risks associated to this survey. However, you can withdraw from the study at any time if, by any reason, you should feel uncomfortable answering any of the questions. On the other hand, you should know that your opinion is very important!

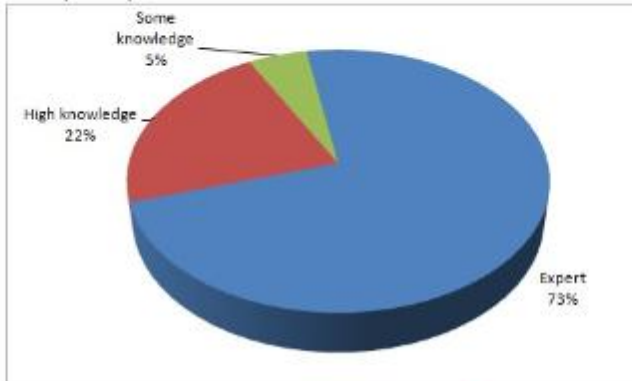
The profile of the participants in the first round is:



Please enter your main working filiation *

- University / R&D institution
- Government agency/Public policies
- Private Company
- NGO - Nongovernmental Organizations
- Interested or partly involved in the theme
- Other (specify)

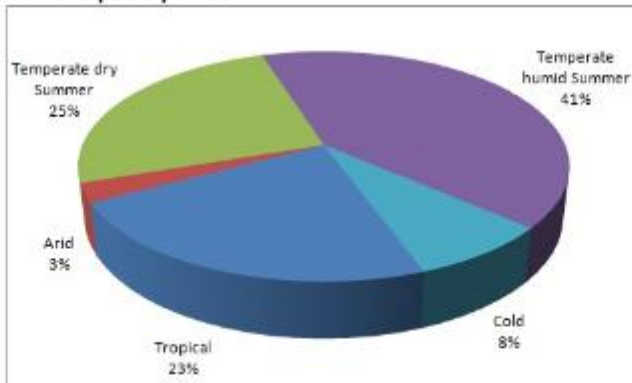
The experience of the participants is:



Please answer what best describe your experience in this field *

- Expert (research in related areas within the last 3 years)
- High knowledge (e.g. system application, development, Government Agencies)
- Some knowledge
- Interested in the subject

The climate profile of the participants is:

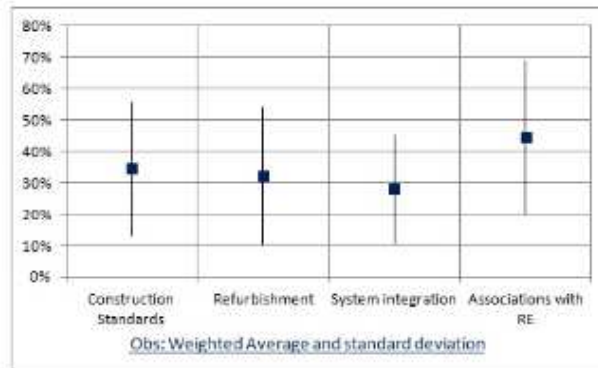


What is the climate of your region according to Köppen-Geigler classification? *

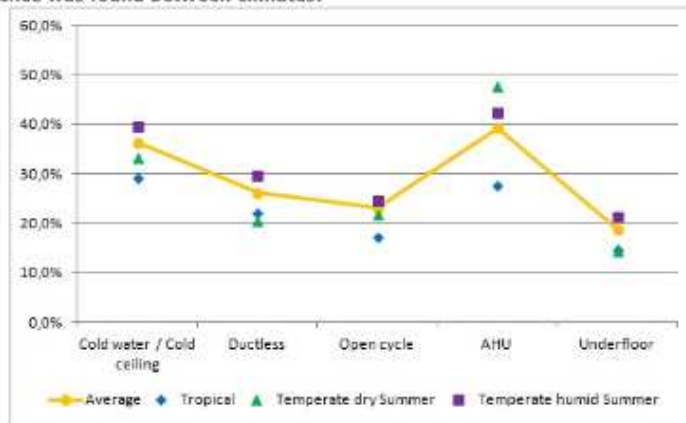
- Tropical
- Arid
- Temperate dry Summer
- Temperate humid Summer
- Cold

Which is the reduction potential (%) of grid electricity consumption by HVAC system of dwellings and apartments in a period of 20-30 years as a result of the following actions in comparison with actual consumption?

In the first round, the weighted average result is: QuestionPro



Some difference was found between climates:



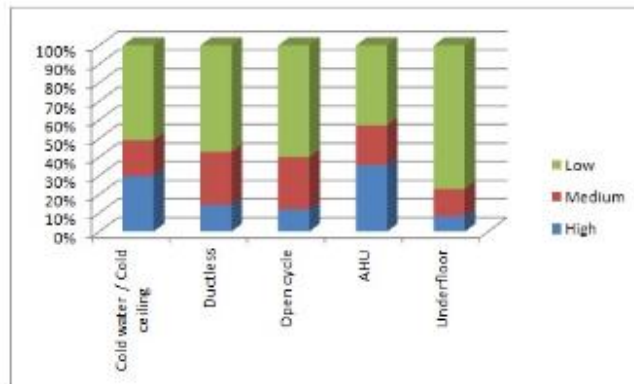
When reevaluating your answers, please focus the reduction potential (%) of grid electricity consumption by "Air conditioning system" of dwellings and apartments in a period of 20-30 years as a result of the following actions in comparison with actual consumption?

N.B.: Construction Standards and Refurbishment does include measures like: "passive cooling"

	0-20%	21-40%	41-60%	61-80%	>81%
Better construction standards, insulation and architecture	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Refurbishment of actual constructions	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
System integration (automation and control)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Associations with renewable energy	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

In a 20-30 year future, what participation the following technologies will have in the cold distribution (withdraw of excess heat)?

The qualitative response in the 1st round was:

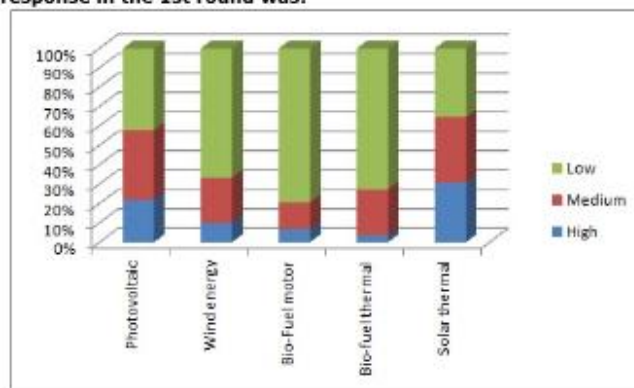


Low = low + very low; High = high + very high
Please enter your answers again:

	Very high >85%	High 61 – 85%	Medium 41 – 60%	Low 11 – 40%	Very low <10%
Cold water / Cold ceiling *	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Local evaporator (ductless / split system) *	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Open cycle (Evaporative / desiccant) *	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Fan coil/Air handling units *	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Under floor distribution *	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

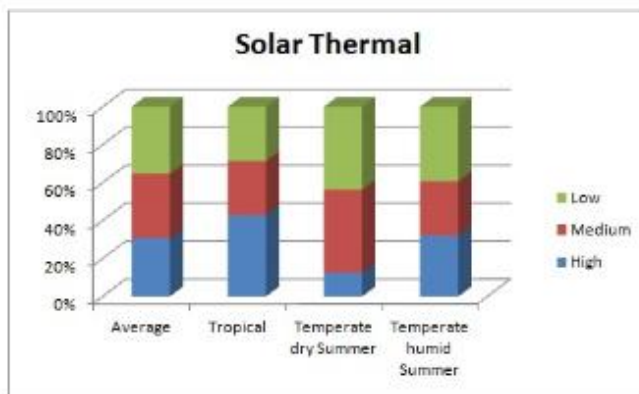
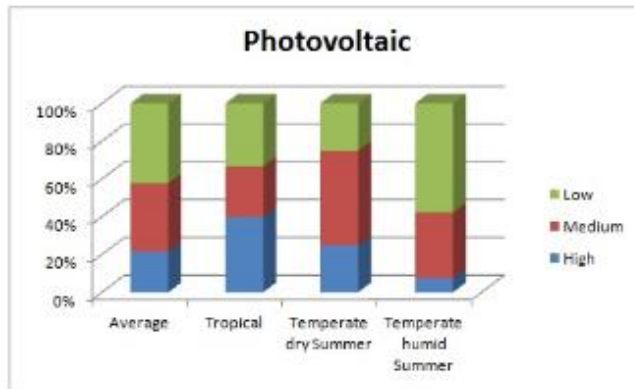
How much would be the market share for the following Renewable Energy Association as source of energy to HVAC equipments, in the 20-30 year future?

The qualitative response in the 1st round was:



Low = low + very low; High = high + very high

The same evaluation was produced by climate for the two best evaluated renewable energy sources:



Individual data from Cold and Arid climate is not reported due to low number of individual responses.

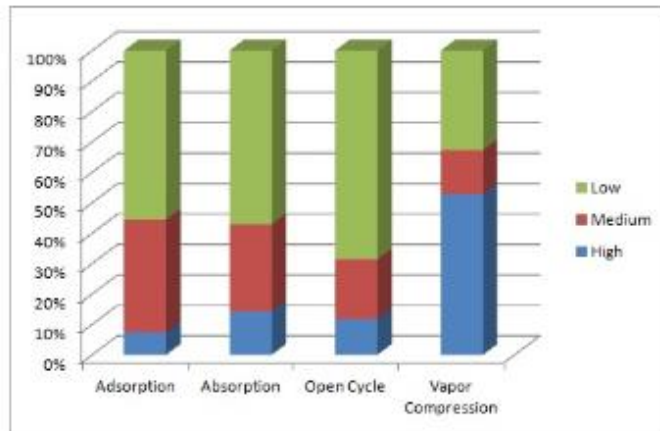
Consider only the production in the property, with exception of biofuel/ biomass

Please enter your answers again: How much would be the market share for the following Renewable Energy Association as source of energy to HVAC equipments, in the 20-30 year future?

	Very high >85%	High 61 - 85%	Medium 41 - 60%	Low 11 - 40%	Very low <10%	N/A
Photovoltaic *	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Wind energy *	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Biofuel - motor *	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Biofuel - thermal *	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Solar thermal *	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>

In a 20-30 year horizon, how do you foresee the market share of the following technologies for air-conditioning (up to 10kW)?

The qualitative response in the 1st round was:



Low = low + very low; High = high + very high

It is important to quote that other technologies also appeared, as magnetic refrigeration, peltier and steam cycle.

Vapor compression appears as the market dominant technology, but there was no clear indication of which technology would be the second most important.

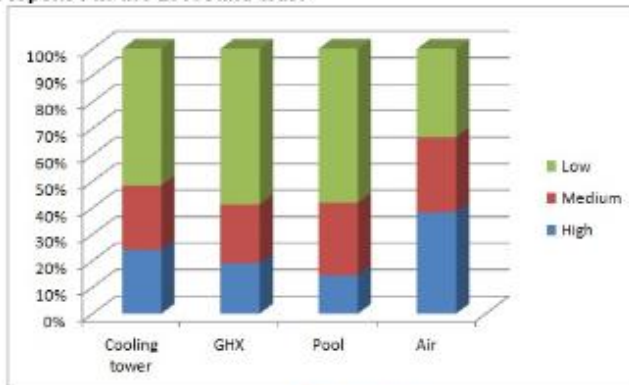
In a 20-30 year horizon, how do you foresee the first and second market prevailing technologies for air-conditioning?

	Adsorption	Absorption	Open cycle	Vapor compression	Other
First *	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Second *	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Please define "other" technology

For a 20-30 year horizon, how do you foresee the market share of the following heat rejection options?

The qualitative response in the 1st round was:



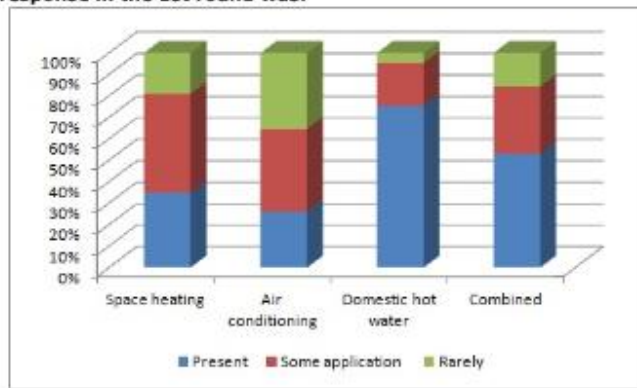
POWERED BY QuestionPro

Low = low + very low; High = high + very high

	Very high >85%	High 61 – 85%	Medium 41 – 60%	Low 11 – 40%	Very low <10%
Cooling tower	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Geothermal heat exchanger	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Thermal reservoir, e.g. river, pool etc.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Air	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

In your opinion, in a 20-30 year future, how present the solar thermal energy will be in the following applications?

The qualitative response in the 1st round was:



	Very present >85%	Present 61 – 85%	Some application 21 – 60%	Rarely <20%
Space heating	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Air conditioning	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Domestic hot water	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Combined: Space heating, water heating and air conditioning	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

The participants sent a very good list of thoughts and factors that could change the previous answers in a significant level.

We are truly grateful for all those contributions.

According to the results in the first round, the use of renewable energy as a driving force of small air conditioning is not going to be a market leader.

What are the barriers to overcome or actions to take that could initiate a large-scale introduction of renewable energy in small air conditioning systems, besides an substantial rise in fossil fuel prices?

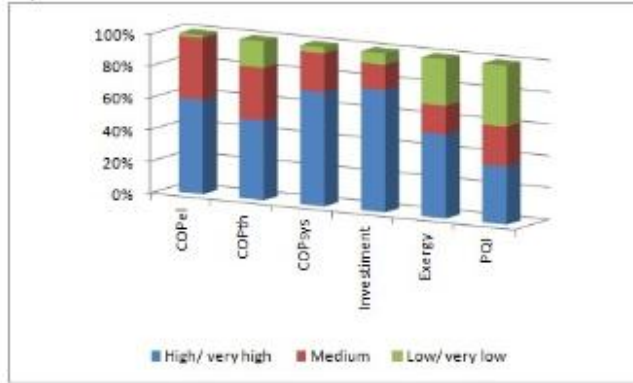
- Substantial cost reduction of Renewable Energy equipments
- Smart grid implementation/ new electricity pricing scheme
- Political and policy changes

Widespread instalation of demonstration equipments

Other

In your opinion, choose the level of importance of the following performance parameters to evaluate the heat pump performance:

The qualitative response in the 1st round was:



All parameters have a good degree of importance.

- Investment and operational costs has the major frequency of High/very high, followed by COPsys.

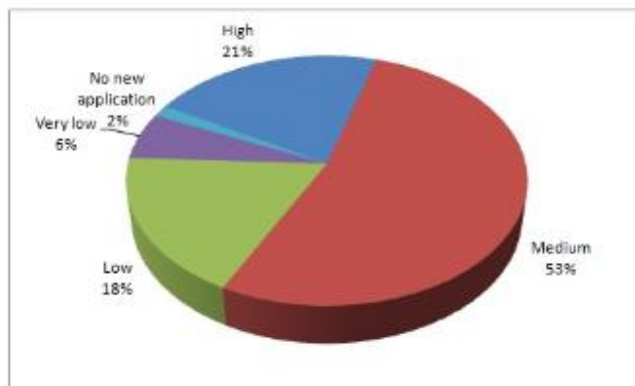
- COPel was the parameter with the fewer votes low/ very low.

- According to contributions SPF (Seasonal Performance Factor) was add

	Very high	High	Medium	Low	Very low
COPel - Wcool/ Wel *	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
COPth - Wcool/ Wth *	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
COPsys - Wcool/ Wtotal *	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Investment and operational cost *	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Exergy efficiency *	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Process Quality Index (COPsys/COP Ideal) *	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
SPF (Seasonal Performance Factor) *	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

What are the potential uses of polymeric material as a cost reduction option in substitution of metallic components in HVAC systems?

The response in the 1st round was:



Please confirm your answer: *

- High
- Medium
- Low
- Very low
- No new application

If you answered High or Medium, please indicate where or which part could be made in polymer material in order to reduce cost.

Delphi Survey - HVAC and Renewables

Questões marcadas com * são obrigatórias.

ANEXO F – Convite da segunda rodada

HVAC and Renewables – 1st Survey findings

Página 1 de 1

De: "Antonio Carlos Ventilii Marques" <ventilii@feq.unicamp.br>
Assunto: HVAC and Renewables – 1st Survey findings
Data: Dom, Setembro 30, 2012 9:40 pm
Para: ventilii@feq.unicamp.br

Dear Mr(s),

We invited you to participate in our Technological Forecast Study, with Delphi methodology, about: "The uses of renewable energy in Heating, Ventilation and Air-conditioning systems - HVAC".

The objective was to evaluate the future technological developments and architect trends in the medium-long term (20 to 30 years) focusing in small systems for apartments and dwellings.

We would like to thank those who dedicated their time to go through the survey and answer it. The information and also collaboration were of great importance.

At this phase we invite you to go through the questionnaire again. You will have opportunity to see firsthand the statistical figures and also revise your answers

Please click in the link to start.
<http://questionpro.com/t/COR7KZJHfcX>

If you have any questions about the procedure or the research itself, you may contact me at ventilii@feq.unicamp.br or by phone: +55-19-9701-8462, or Dr. Wagne dos Santos Oliveira at: oliveira@feq.unicamp.br.

Best Regards

Antonio Carlos Ventilii Marques
DTP/FEQ- UNICAMP - State University of Campinas

This email was sent to ventilii@feq.unicamp.br on behalf of:

Antonio Carlos Ventilii Marques
UNICAMP
Av. Albert Einstein, 500
Cidade Universitária Zeferino
Campinas, SP 13083-052
Brazil

Unsubscribe:
<http://www.questionpro.com//a/unsubscribeEmail.do?id=167356921>

Report Abuse:
<http://www.questionpro.com/a/rptabuse/1-126314736-2030902-167356921>

ANEXO G – Lembrete da segunda rodada

Reminder - HVAC and Renewables – 1st Survey findings

Página 1 de 1

De: "Antonio Carlos Ventili Marques" <ventilii@feq.unicamp.br>
Assunto: Reminder - HVAC and Renewables – 1st Survey findings
Data: Qua, Outubro 17, 2012 1:45 pm
Para: ventilii@feq.unicamp.br

Dear Mr(s),

We invited you to participate in our Technological Forecast Study, with Delphi methodology, about: "The uses of renewable energy in Heating, Ventilation and Air-conditioning systems - HVAC".

The objective was to evaluate the future technological developments and architect trends in the medium-long term (20 to 30 years) focusing in small systems for apartments and dwellings.

We would like to thank those who dedicated their time to go through the survey and answer it. The information and also collaboration were of great importance.

At this phase we invite you to go through the questionnaire again. You will have opportunity to see firsthand the statistical figures and also revise your answers

Please click in the link to start.
<http://questionpro.com/t/COR7KZJHfjJ>

If you have any questions about the procedure or the research itself, you may contact me at ventilii@feq.unicamp.br or by phone: +55-19-9701-8462, or Dr. Wagne dos Santos Oliveira at: oliveira@feq.unicamp.br.

Best Regards

Antonio Carlos Ventili Marques
DTP/FEQ- UNICAMP - State University of Campinas

This email was sent to ventilii@feq.unicamp.br on behalf of:


Antonio Carlos Ventili Marques
UNICAMP
Av. Albert Einstein, 500
Cidade Universitária Zeferino
Campinas, SP 13083-052
Brazil

Unsubscribe:
<http://www.questionpro.com//a/unsubscribeEmail.do?id=167356788>

Report Abuse:
<http://www.questionpro.com/a/rptabuse/1-126315149-2030902-167356788>

ANEXO H – Resposta SPAM

Absence du bureau : *** Detected as Spam *** Survey Invitation - HVAC and Ren... Página 1 de 1

De: 
Assunto: Absence du bureau : *** Detected as Spam *** Survey Invitation - HVAC and Ren
Data: Sex, Agosto 24, 2012 11:11 am
Para: "Antonio Carlos Ventilii Marques" <ventilii@feq.unicamp.br>

Je suis en congés jusqu'au 27/08/2012. Je répondrai à votre mail dès mon retour.
I'am out of the office until August the 27th. I'll reply to your mail upon my ret
best regards,
Rodolphe

E-mail Confidentiality Notice and Disclaimer.

This e-mail and any files transmitted with it are confidential and are intended
solely for the use
of the individual or entity to which they are addressed. Access to this e-mail by
anyone else is
unauthorised. If you are not the intended recipient, any disclosure, copying,
distribution or any
action taken or omitted to be taken in reliance on it, is prohibited. E-mail
messages are not
necessarily secure. Hitachi does not accept responsibility for any changes made t
this message
after it was sent.
Hitachi checks outgoing e-mail messages for the presence of computer viruses.
