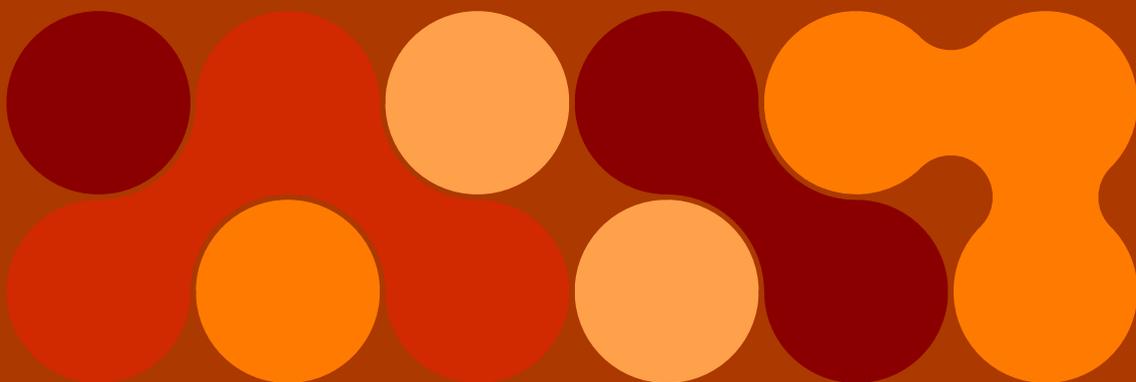


energia

impactos, vulnerabilidades e adaptação
às alterações climáticas



1. Introdução

Este documento constitui o produto entregável 2.2.1 mencionado no Documento-Guia que detalha o Programa de Trabalhos para o caso do sector Energia, designadamente como resultado da Tarefa 2.2.1: “Avaliar o impacto do desenvolvimento dos recursos renováveis, elaborando um cenário de referência e caracterizando os cenários futuros, avaliando os impactos no que respeita ao potencial de utilização das energias renováveis.” O seu objectivo é portanto examinar o impacto das alterações climáticas nas Fontes de Energia Renovável (FER), discutir a vulnerabilidade da produção de energia a partir de FER e identificar possíveis medidas de adaptação planeada.

Para a caracterização geral dos recursos energéticos de FER na RAM recomendam-se os estudos de potencial na RAM elaborados ou patrocinados pela AREAM - Agência Regional da Energia e Ambiente da Região Autónoma da Madeira, com destaque para o Projecto ERAMAC - Maximização da Penetração das Energias Renováveis e Utilização Racional da Energia nas Ilhas da Macaronésia: Pereira *et al.* (2005 a), e mais recentemente o Projecto PAUER (2007) e o Atlas de Radiação Solar do Arquipélago da Madeira (Vázquez *et al.*, 2008) para a energia solar; Pereira *et al.* (2005 b) para a energia eólica; AREAM (2005), para a energia hídrica; Rosa e Vieira (2006) e Melim Mendes *et al.* (2006), para a energia da biomassa. O Relatório final CLIMAAT II (2006) tem informação relevante embora sintética sobre recursos energéticos; mais recentemente a tese de doutoramento de C. Magro (2007) do LREC – Laboratório Regional de Engenharia Civil, incluiu resenhas históricas interessantes para cada recurso, além de detalhes sobre o recurso solar. A tese de doutoramento de R. Tomé (2013) da Universidade dos Açores, mais detalhes sobre variação dos parâmetros atmosféricos, incluindo temperatura, precipitação e vento, num contexto de mudança climática.

Note-se que as FER analisadas são as referidas acima, viz. radiação solar, vento, energia potencial hídrica e energia de queima de biomassa. O aproveitamento da energia da biomassa via biocombustíveis não se analisou, por várias razões concorrentes: por a pequena escala inviabilizar economicamente uma biorefinaria dedicada na RAM; pela imaturidade da tecnologia de biocombustíveis de 2ª geração; por se estimar não ser ambientalmente sustentável à luz dos critérios que a União Europeia está actualmente a considerar; e simplesmente por não

existir informação suficiente, já que o único estudo conhecido, de Rosa e Vieira, 2006, refere-se à produção a partir de óleos alimentares usados, e não a partir de biomassa no sentido mais estrito que aqui nos interessa. Também os recursos energéticos associados às ondas e correntes marítimas não foram analisados, por simples falta de dados como pela imaturidade das tecnologias de conversão. A energia geotérmica não se analisou porque embora seja renovável à escala humana, dada a sua origem praticamente não é influenciada pelas alterações do clima.

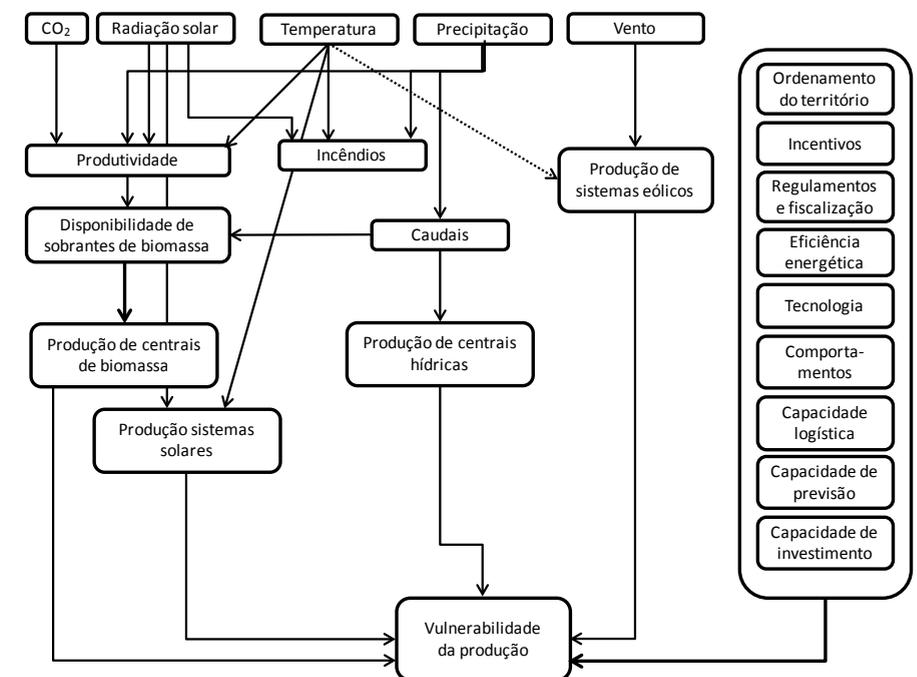
Para o panorama histórico e actual, e o planeamento da produção futura de energia a partir de FER, recomenda-se a consulta dos Planos do Governo Regional da RAM, com destaque para o Plano de Política Energética da RAM - Ano de referência 2000 (PPERAM, 2000) e mais recentemente para os Planos de Acção para a Energia Sustentável elaborados no contexto do Pacto das Ilhas, PAESI Madeira (2012) e PAESI Porto Santo (2012). Adicionalmente, informação de muitos tipos, desde dados estatísticos a panorâmicas gerais e à descrição detalhadas de centrais eléctricas, que pode ser obtida através do *website* da EEM - Empresa de Electricidade da Madeira (www.eem.pt). O website do INE - Instituto Nacional de Estatística (www.ine.pt) também possui informação estatística relevante.

Conforme previsto, a análise de impactos foi feita principalmente com base nos cenários climáticos disponibilizados internamente no Projecto, e na bibliografia existente sobre impactos das alterações climáticas, aqui com destaque para as publicações do Projecto CLIMAAT II (2006) patrocinado pela Direcção Geral do Ambiente da RAM. Adicionalmente, foram feitos alguns estudos adicionais para itens específicos, como o caso da energia solar. A análise das vulnerabilidades baseou-se principalmente nas análises do CLIMAAT II e nos Planos Energéticos, com alguma contribuição dos estudos da AREAM e LREC.

A versão original deste documento resultou apenas de estudos; a presente versão revista, tem em conta adicionalmente as percepções e opiniões das partes interessadas da RAM, obtidas principalmente através de dois Seminários no Funchal.

2. Metodologia

São primeiro construídas cadeias de impactos para as FER, um esquema simplificado das principais interações entre impactos, exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa, cf. Fig. 1.



Setas: a cheio, dependências cruciais; a tracejado, dependências de segunda ordem e/ou ocasionais.

Figura 1 – Cadeia de impactos no aproveitamento de energia a partir de FER.

Os impactos potenciais são identificados pelas interações dos factores de exposição climática (parâmetros meteorológicos) com factores de sensibilidade física ou estrutural. No caso da energia estes incluem principalmente a resposta dos sistemas de conversão de FER, portanto de equipamentos como sistemas solares térmicos e fotovoltaicos, turbinas eólicas, centrais de incineração, e centrais hidroeléctricas (note-se que as questões ligadas ao armazenamento, transporte e distribuição de energia são consideradas noutra Tarefa).

No entanto há em alguns casos factores adicionais. Como se mostra na cadeia de impactos, para determinar os sobranes e resíduos de biomassa disponíveis para a produção de energia a partir da biomassa – térmica no caso de caldeiras e lareiras, eléctrica a partir da central de incineração de resíduos – é necessário ter em conta o risco de incêndio. Note-se que a informação de impactos necessária para a energia da biomassa provém então basicamente do sector de Agricultura e Florestas.

O segundo caso é o da produção de energia hidroeléctrica nas diversas centrais da Ilha da Madeira, onde é necessária informação sobre caudais (e de forma secundária sobre deslizamentos), a obter do sector de Recursos Hídricos.

De seguida considera-se a capacidade adaptativa. Esta é definida como a capacidade de ajuste dos sistemas a mudanças climáticas (incluindo a variabilidade climática e extremos) e de lidar com as suas consequências, seja na moderação dos danos potenciais, seja no aproveitamento de oportunidades. No caso do aproveitamento de FER, há a considerar como factores de sensibilidade mais importante a resposta dos sistemas à disponibilidade do recurso. Depois, as questões de dimensionamento de sistemas, selecção de equipamentos, e enquadramentos legais – em particular regulamentos – e de gestão, tais como planos de desenvolvimento, sistemas de incentivos. Enquanto no caso da procura de energia deveríamos ainda adicionar factores como controlo de sistemas e comportamentos, neste caso da oferta de energia a partir de FER a influência que podem ter é, na prática, mínima.

Desde logo realçamos que a capacidade adaptativa dos equipamentos de conversão de FER é muito baixa, uma vez que a produção de energia está intrínseca e directamente ligada aos parâmetros meteorológicos (com particular relevância para precipitação, radiação solar, e intensidade do vento). Quer dizer, a adaptação a uma mudança do recurso energético, seja no sentido de o aproveitar melhor ou de contrariar a redução da sua disponibilidade, implicaria neste caso basicamente ou uma substituição plena do próprio equipamento, ou a adição de mais equipamento. Ora isso só faz sentido quando da substituição de equipamentos que chegam ao seu fim de vida útil, ou quando são adicionados mais equipamentos. Nessa altura ocorre o que poderemos classificar como uma adaptação espontânea, visto que o dimensionamento dos sistemas é adequado à situação no novo período.

Da conjugação entre impactos potenciais (sem consideração de qualquer tipo de adaptação) e capacidade adaptativa resulta uma avaliação da vulnerabilidade. Esta vulnerabilidade é traduzida numa escala qualitativa de seis níveis entre o “muito positivo” e o “crítico”, ver Tabela 1.

Tabela 1 – Escala de vulnerabilidade.

2	Muito Positiva
1	Positiva
0	Neutra
-1	Negativa
-2	Muito Negativa
-3	Crítica

Estas estimativas de vulnerabilidade são apresentadas em conjunto com uma incerteza que se avalia pelo cruzamento entre concordância das várias fontes bibliográficas e outros estudos, com a evidência que deles se pôde obter, cf. Fig. 2.

CONCORDÂNCIA ↑	MÉDIA Concordância Alta Evidência Limitada	ALTA Concordância Alta Evidência Média	MUITO ALTA Concordância Alta Evidência Robusta
	BAIXA Concordância Média Evidência Limitada	MÉDIA Concordância Média Evidência Média	ALTA Concordância Média Evidência Robusta
	MUITO BAIXA Concordância Baixa Evidência Limitada	BAIXA Concordância Baixa Evidência Média	MÉDIA Concordância Baixa Evidência Robusta
	EVIDÊNCIA →		

Figura 2 – Matriz de atribuição de confiança nos resultados.

O estudo da vulnerabilidade é conduzido primeiro considerando a capacidade adaptativa actual, i.e. apenas a capacidade de adaptação intrínseca relativa às condições históricas e/ou actuais, e não incluindo medidas específicas para as alterações climáticas. Dado o que apontámos a respeito da reduzida capacidade adaptativa no aproveitamento de FER, podemos desde logo deduzir que a vulnerabilidade actual reflectirá quase directamente os impactos.

As vulnerabilidades assim identificadas são a base para a concepção e selecção de medidas de adaptação *planeada* específicas destinadas a aumentar a capacidade adaptativa futura, e portanto obter uma vulnerabilidade futura. Caso existam dados e estudos, esta análise é feita para três períodos climáticos (30 anos): curto-prazo, 2011-2040; médio-prazo, 2041-2070; e longo-prazo, 2071-2099. Há ainda a considerar dois cenários de mudança climática, um cenário A2 mais severo, e um cenário B2 de menor mudança climática. No curto-prazo estes dois cenários são indistinguíveis.

Os resultados obtidos são apresentados de forma conveniente numa forma matricial, que além da visão de conjunto que proporciona, permite identificar os itens que necessitam de mais atenção, e portanto priorizar medidas num Plano de Adaptação às Alterações Climáticas.

Na espacialização dos impactos e vulnerabilidades neste tema específico do sector Energia é preciso considerar que enquanto as conclusões sobre impactos abrangem na prática toda uma ilha, as conclusões sobre capacidade adaptativa e portanto vulnerabilidade aplicam-se aos lugares específicos onde se faz o seu aproveitamento (quase sempre edifícios ou centrais), agora e no futuro.

Assim para a energia solar não é praticável fazer uma espacialização detalhada pois se desconhece o número e posição dos sistemas, agora e no futuro. Para o caso da energia eólica, os parques têm de ser instalados em zonas particularmente favoráveis que no caso da Ilha da Madeira parecem ser apenas o Paul da Serra. Para o caso da energia da biomassa para calor, de novo nos confrontamos com um número potencialmente grande mas indeterminado de edifícios, enquanto para produção de electricidade a vulnerabilidade pode considerar-se (actualmente) localizada na unidade de incineração de RSUs de Meia Serra. Finalmente para o caso da hidroelectricidade pode atribuir-se aos locais das (actuais) centrais hidroeléctricas.

3. Energia solar

3.1. Impacto das alterações climáticas no aproveitamento do recurso solar

O recurso solar na RAM é muito variável, em particular na Ilha da Madeira, uma vez que a orografia é montanhosa e muito complexa, influenciando na radiação solar que chega à superfície através da variação em altitude dependente de camadas nebulosas, dos numerosos microclimas, e da própria obstrução do horizonte particular a cada local. Nestas condições, e dada a informação quase nula dos modelos climáticos sobre nebulosidade e microclimas, é impraticável a análise em alta resolução do impacto das alterações climáticas no recurso solar. No entanto é possível uma análise de anomalias, que no fundo é o mais interessante para um estudo de Adaptação.

Embora como dissemos o recurso solar seja muito variável no espaço (Pereira *et al.*, 2005 a; Magro, 2007, Vázquez *et al.*, 2008), é pertinente dar alguns valores típicos para reflexão. Escolhemos usar a climatologia oficial para a RAM do Sistema Nacional de Certificação de Edifícios (SCE, 2013a, 2013b) preparada por Aguiar (2013), cf. Tabela 2.

Tabela 2 – Climatologia típica da radiação solar na R.A. Madeira (kWh/m² por dia).

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANUAL
no topo da atmosfera	5.5	6.9	8.6	10.2	11.1	11.5	11.3	10.5	9.1	7.4	5.9	5.1	8.6
global horizontal	2.1	2.5	4.1	4.2	5.1	4.8	5.2	4.7	4.5	2.7	2.3	2.2	3.7
directa na horizontal	0.8	1.0	2.1	1.6	2.5	2.0	2.6	2.2	2.3	1.1	1.0	1.1	1.7
global incidente em 30° S	2.7	3.0	4.6	4.2	4.9	4.4	4.8	4.6	4.9	3.2	3.0	3.1	4.0
directa incidente em 30° S	1.4	1.4	2.5	1.7	2.3	1.7	2.3	2.2	2.6	1.5	1.6	1.9	1.9
índice de claridade	37%	37%	47%	41%	46%	42%	46%	45%	50%	36%	39%	42%	43%
fracção difusa	85%	85%	76%	84%	77%	83%	77%	79%	75%	85%	83%	79%	80%

Constata-se que o recurso solar na RAM é bastante baixo tendo em conta a sua zona latitudes, o que é indicado por valores do índice de claridade (razão entre radiação global à superfície com o valor no topo da atmosfera) entre apenas 37% e 50% e valores de fracção da radiação que chega sob a forma difusa da ordem de 80%. Esta conclusão geral não é modificada substancialmente quando se considera, em vez da horizontal, o plano inclinado correspondente à colocação de colectores solares (cf. Tabela 1).

Ou seja, a nebulosidade característica da RAM interfere com a radiação solar e reduz o recurso aproveitável. Apesar de tudo, certamente que este recurso não é desprezável no contexto europeu.

Ora, atendendo a que à mudança climática em curso corresponde *grosso modo* uma deslocação para norte da zona de convergência da célula de Hadley com a célula de Ferrel e portanto da nebulosidade que lhe está associada, poderia esperar-se uma redução geral de nebulosidade com impacto positivo na disponibilidade do recurso solar, tanto via redução da cobertura nebulosa como da fracção de radiação difusa.

No entanto o que os dados climáticos disponibilizados para o presente estudo indicam é que em termos anuais o recurso solar não mostra tendências com o avançar do tempo, e apenas uma redução não significativa e que pode perfeitamente ser espúria da ordem de -2% na fracção de radiação difusa. Já se examinarmos o assunto ao nível sazonal notamos uma tendência lenta e ligeira para mais radiação no inverno e menos radiação no verão, ambas da ordem de 5% no horizonte de longo-prazo, compensando-se ao nível anual.

Em conclusão, o impacto das alterações climáticas no recurso energético solar pode considerar-se neutro em termos anuais. No entanto não se pode excluir que as pequenas variações a nível sazonal tenham um reflexo amplificado no desempenho dos sistemas de aproveitamento da energia solar. Esta possibilidade foi avançada no Projecto CLIMAAT II, tendo-se concluído que haveria um aumento de produtividade da ordem de 5%. Analisando os resultados e a metodologia usada na ocasião, foi considerado que as conclusões não eram claras e mereciam uma reanálise.

Assim foram simulados para o corrente estudo um sistema solar térmico típico para aquecimento de águas sanitárias numa vivenda e um sistema fotovoltaico típico de micro-geração/ autoconsumo. Para isso foi necessário aumentar a escala de tempo das séries de dados diários disponibilizados, visto que as simulações são feitas em base horária. Para isso utilizou-se o mesmo conjunto de metodologias empregue por Aguiar (2012) na preparação de dados padronizados para o Sistema de certificação de Edifícios. O software de simulação utilizado foi o Solterm 6.0.0 (*build* 43), que é o utilizado oficialmente para o Sistema de Certificação de Edifícios. Em anexo constam exemplos do relatórios de simulação, que detalham as características dos sistemas considerados, assim como do consumo.

Para o sistema solar térmico – ver Fig. 3 – obtiveram-se flutuações pequenas e provavelmente espúrias, e uma diminuição muito pequena da produtividade (produção de energia térmica por área de colector solar instalado) de -2% a longo prazo; e pelo contrário uma fracção solar

(percentagem de consumo atendida a partir de energia solar) ligeiramente crescente (de 41% para 43%). Em análise mais detalhada, constata-se que este resultado potencialmente paradoxal se deverá a uma redução das necessidades de consumo devido ao aumento da temperatura e à diminuição de perdas térmicas para o ambiente, e não tem que ver com o recurso solar em si.

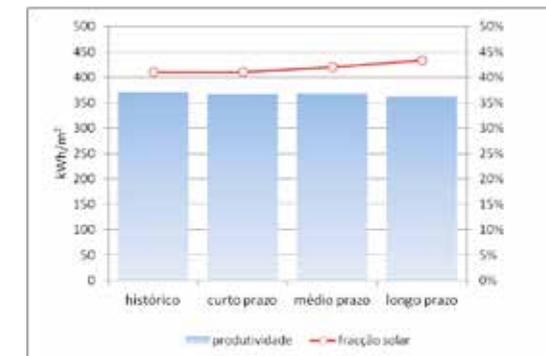


Figura 3 – Alterações do desempenho de um sistema solar térmico típico.

Para o sistema solar fotovoltaico – ver Fig. 4 – obtiveram-se também flutuações muito pequenas e provavelmente espúrias, com uma diminuição no tempo muito pequena da produtividade (medida aqui pela produção de energia eléctrica por potência de módulo solar instalada), de -1% a longo prazo. Mais uma vez, este resultado parece dever-se principalmente à influência da temperatura, desta vez na eficiência de conversão fotovoltaica, e muito pouco à variação da sazonalidade do recurso solar.

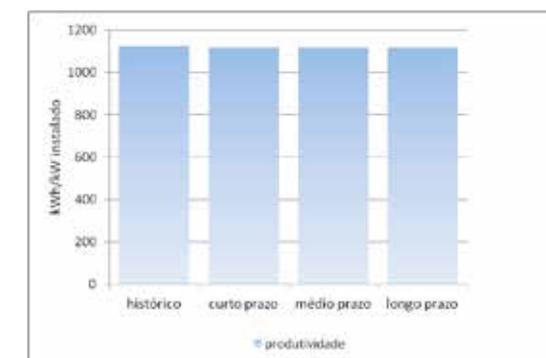


Figura 4 – Alterações do desempenho de um sistema solar fotovoltaico típico.

Esta análise reforça a conclusão de que o impacto das alterações climáticas no recurso e na produção de energia solar é ligeiramente positivo para a vertente térmica e neutro para a vertente fotovoltaica.

Por último referimos que embora a disponibilidade de energia solar na Ilha do Porto Santo seja maior que na Ilha da Madeira, as conclusões das análises para Porto Santo são similares às antes referidas.

3.2. Capacidade adaptativa actual

Em relação à capacidade adaptativa a partir de FER, o caso do aproveitamento da energia solar é paradigmático. Uma vez dimensionados de acordo com certos dados climáticos e instalados, os equipamentos de conversão reagem directamente ao recurso solar disponível (e secundariamente à temperatura) e estão adaptados aos eventos extremos, o que neste caso quer dizer muito baixas temperaturas e rajadas de vento. A adaptação a uma mudança climática do recurso, implicaria a substituição plena do sistema, portanto a bem dizer deixando de ser uma adaptação do sistema. Assim, a capacidade adaptativa actual (i.e. a dos sistemas actualmente em operação) é muito baixa.

3.3. Vulnerabilidade actual

Não obstante a capacidade adaptativa actual ser muito baixa, os impactos são como se viu neutros, pelo que a vulnerabilidade actual é neutra (0). A confiança neste resultado é “muito elevada”.

3.4. Medidas de adaptação e capacidade adaptativa futura

A uma alteração significativa do recurso solar ou do entorno, poder-se-ia responder com, por exemplo, alterações nas regras de dimensionamento e no tipo de sistemas a empregar. Assim a capacidade adaptativa futura poderia ser tornada elevada.

Claro que, não havendo a esperar alterações significativas do recurso solar, são pouco pertinentes medidas de adaptação: basicamente pode-se considerar a conveniência da actualização progressiva dos dados climáticos usados no dimensionamento e regulamentos, no caso da RAM isto querendo dizer na prática, dos dados de temperatura. É interessante notar que isso já começou a ser feito no SCE. Assim poderemos considerar conceptualmente que a capacidade adaptativa futura é alta.

3.5. Vulnerabilidade futura

Em presença de uma capacidade adaptativa futura elevada, a vulnerabilidade segue directamente os impactos, sendo portanto ligeiramente positiva para a vertente térmica e neutra para a vertente fotovoltaica.

A evidência é limitada ao nível da sofisticação dos cenários climáticos disponíveis, mas não há discordâncias, pelo que a confiança neste resultado é “elevada”.

4. Energia eólica

4.1. Impacto das alterações climáticas no recurso eólico

O recurso eólico na RAM é também muito variável, em particular na Ilha da Madeira, dada a orografia montanhosa e muito complexa. Como explicado em detalhe por Magro (2007), a modelação do vento nestas condições foi tentada mas é muito difícil e apesar do esforço interessante dos Projectos CLIMAAT II (2005) e ERAMAC (Pereira *et al.*, 2005 b) ainda não existe um mapa fiável de potencial eólico para *toda* a RAM.

De qualquer forma isso não é importante para o presente estudo pois apenas é relevante o potencial que existe nas zonas favoráveis, na prática linhas de cumes ou planaltos, com turbulência não muito elevada. Não obstante o estudo do ERAMAC apontar várias destas zonas na Ilha da Madeira, a experiência tem mostrado que até agora isso significa apenas a zona do Paul da Serra, onde têm vindo a ser construídos e estão planeados mais parques eólicos (PAESI Madeira, 2012), tendo falhado a instalação noutras potenciais zonas, como o Caniçal. Esta zona do Paul da Serra tem sido intensivamente monitorizada (e.g. Afonso *et al.*, 2006; Junça *et al.*, 2006) e modelada (e.g. Miranda *et al.*, 2003; Afonso *et al.*, 2006).

O impacto das alterações climáticas na intensidade do vento na zona do Paul da Serra (rectângulo 32,72°N a 32,78°N e 17,04°W a 17,12°W) tal como obtida dos dados CLIMAAT II apresenta-se nas Tabelas 3 e 4. Recordar-se que estes dados são baseados no modelo climático de circulação global HadCM3 e nos cenários de emissões SRES do IPCC (cf. capítulos de clima no CLIMAAT, 2006).

Tabela 3 – Velocidade média CLIMAAT II na zona do Paul da Serra.

(m/s)	RECENTE	CURTO PRAZO	MÉDIO PRAZO		LONGO PRAZO	
			A2	B2	A2	B2
jan	7.0	6.9	6.8	6.8	6.6	7.1
fev	6.9	6.9	6.7	6.7	6.7	6.4
mar	7.3	7.2	7.0	7.3	7.1	7.1
abr	6.6	6.8	6.9	7.0	6.9	7.0
mai	6.8	6.8	6.9	7.1	7.2	7.0
jun	6.8	6.8	6.8	6.9	7.1	6.6
jul	6.8	6.8	6.8	6.9	6.6	7.0
ago	7.1	7.1	7.0	6.8	6.6	6.7
set	6.3	6.2	6.1	6.3	6.3	6.3
out	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.2
nov	6.1	6.1	6.0	6.3	6.1	6.1
dez	6.4	6.6	6.8	6.6	6.4	6.7
anual	6.7	6.7	6.7	6.7	6.6	6.7

Tabela 4 – Anomalias da velocidade média CLIMAAT II na zona do Paul da Serra em relação ao período de controlo.

	CURTO PRAZO	MÉDIO PRAZO		LONGO PRAZO	
		A2	B2	A2	B2
jan	-2%	-4%	-4%	-7%	0%
fev	-1%	-3%	-3%	-3%	-8%
mar	-2%	-5%	0%	-3%	-3%
abr	2%	4%	5%	5%	6%
mai	1%	2%	5%	7%	3%
jun	0%	1%	2%	5%	-3%

	CURTO PRAZO	MÉDIO PRAZO		LONGO PRAZO	
		A2	B2	A2	B2
jul	0%	0%	0%	-3%	2%
ago	-1%	-1%	-4%	-7%	-6%
set	-1%	-2%	1%	0%	0%
out	0%	0%	0%	0%	2%
nov	0%	-1%	3%	0%	1%
dez	3%	6%	4%	0%	5%
anual	0%	0%	1%	-1%	0%

A nível anual a mudança climática parece ser muito pequena; a nível sazonal há consistência ao longo do século apenas numa redução de velocidade média nos meses de fevereiro, março e agosto, e aumento nos meses de abril e dezembro.

Recentemente Tomé (2013) veio reexaminar o assunto para os Arquipélagos, usando modelos climáticos e de regionalização espacial bastante mais recentes, baseados nos cenários de emissões RCP4.5 e 8.5, sendo estes *grasso modo* similares aos SREAS B2 e A2, respectivamente. As tendências que encontrou foram mais significativas a nível anual: (sic) “perdas relativamente baixas na ilha da Madeira da intensidade do vento para o meio do século (...) que variam entre -1% (-0,07 m/s) a -5% (-0,25 m/s), sendo esta diminuição ligeiramente superior no final do século (...) -3% (-0,18 m/s) a -5% (-0,27 m/s). Na ilha de Porto Santo as perdas são menos sentidas, apontando todas as estimativas para perdas com valores abaixo dos -3% (contudo) no cenário RCP8.5 existe entre 2040-2060 e 2080-2100 um aumento da intensidade do vento”. No entanto a conclusão a que o autor chega é similar à do CLIMAAT II: (sic) “apesar destas perdas, podemos afirmar que de maneira geral, as anomalias são pouco significativas.”

Seja como for, para avaliar o impacto das alterações climáticas no aproveitamento da energia eólica, deveríamos considerar não a intensidade do vento v , mas sim a potência eólica disponível:

$$P_w = \frac{1}{2} \rho A v^3 = \frac{1}{2} A p_w \quad (\text{W}) \quad [1a]$$

$$\text{com } p_w = \rho v^3 \quad (\text{W/m}^2) \quad [1b]$$

onde p_w é a densidade de potência eólica (por conveniência de definição), A é a área varrida pelas pás de uma turbina, ρ é a densidade do ar e v a intensidade do vento (suposta constante em toda a área A). Portanto a potência eólica é dependente do cubo da intensidade do vento, o que significa que alterações pequenas que poderíamos considerar pouco relevantes na intensidade média do vento, na variabilidade diária ou mesmo na distribuição de probabilidade de

ocorrência, podem ser amplificadas e tornar-se relevantes quando se considera o ponto de vista da potência eólica.

Nos dados CLIMAAT II a variabilidade diária não mostra tendências significativas. Tomé (2013), chega também à conclusão de que as alterações nesta variabilidade diária são inconsistentes: (sic) "na ilha de Porto Santo a meio do século, existe uma diminuição significativa da variabilidade diária do vento, mas para o fim do século verificamos um aumento muito considerável da mesma. Na Madeira, no cenário RCP4.5, a variabilidade diminui a meio do século e apresenta um aumento bastante significativo para o fim do século."

Quanto à variabilidade a ainda menor escala de tempo, não dispomos da densidade de probabilidade a escalas de tempo da ordem de 10 minutos que seria necessária. No entanto, há um exercício que foi feito para a área do Paul da Serra no Projecto CLIMAAT II – embora ao nível padrão de 2 m acima da superfície para o qual havia dados e não ao nível do eixo das turbinas – e que consistiu em fazer uma aproximação da distribuição de probabilidade tipo Weibull, com valores típicos dos seus coeficientes k e c :

$$k = 0.73 * v^{1/2} \quad [3a]$$

$$c = v / \Gamma(1 + 1/k) \quad [3b]$$

e usando depois as séries de valores diários de v disponíveis no banco de dados meteorológicos para calcular séries de densidade de potência eólica p_w . Os resultados apontaram para um pequeno aumento da disponibilidade de energia eólica de 81 W/m² no período de controlo para 83 a 85 W/m² a longo prazo. Mais significativo que a alteração em si é a indicação de que alterações na variabilidade do vento podem ter efeitos no potencial eólico que contrariam e mesmo suplantam uma alteração da intensidade média do vento.

Outro factor a ter em conta em termos de alterações climáticas é a diminuição da densidade do ar com o aumento da temperatura ambiente T , que tende a prejudicar a geração eólica:

$$\rho = p / RT \quad [2]$$

onde R depende em parte da humidade, e p é a pressão atmosférica. No caso da RAM, usando valores típicos para a altitude e humidade no Paul da Serra, e $T = 10$ °C, o resultado de uma anomalia de 2°C a longo prazo na temperatura, seria cerca de -0,7% em p , directamente reflectido na mesma redução percentual da potência eólica. Não há informação sobre as mudanças na pressão atmosférica. Há uma influência da pressão, e da humidade relativa em p , através do coeficiente R , que funciona em sentido contrário à da temperatura (o ar mais seco é mais denso), mas é muito mais pequena do que da temperatura; de qualquer maneira significaria uma alteração da potência eólica por esta via, ainda inferior, digamos -0,5%.

Finalmente há que ter em conta a turbulência do vento, que reduz a potência eólica disponível. Esta turbulência é sensível em especial à rugosidade do terreno, mas em termos de alterações climáticas e em terreno acidentado, importa mais realçar a questão da direcção dominante do vento. De facto, o posicionamento das turbinas é feito (entre outros critérios) de forma a minimizar a turbulência que recebe: mas esse trabalho é feito segundo o clima actual, enquanto no clima futuro pode acontecer que a direcção dominante coloque as turbinas mais na esteira de obstáculos, arribas, etc. Não dispomos de dados fiáveis de direcção do vento para o futuro, de modo que fica apenas esta nota.

Em conclusão, os impactos das alterações climáticas no potencial eólico deverão ser ou neutros ou no pior dos casos (e.g. alteração prejudicial de rumo), ligeiramente negativos.

4.2. Capacidade adaptativa actual

Uma vez dimensionados de acordo com certos dados climáticos e instaladas, as turbinas eólica directamente ao recurso eólico disponível e estão adaptados aos eventos extremos, o que neste caso quer dizer essencialmente rajadas de vento. A adaptação a uma mudança climática do recurso, implicaria a substituição plena do sistema. Assim, a capacidade adaptativa actual (i.e. a dos sistemas actualmente em operação) é muito baixa.

4.3. Vulnerabilidade actual

Não obstante a capacidade adaptativa actual ser muito baixa, os impactos são como se viu neutros, pelo que a vulnerabilidade actual é neutra (0), com uma confiança "muito elevada".

4.4. Medidas de adaptação e capacidade adaptativa futura

A uma alteração significativa do potencial eólico, poder-se-ia responder com, por exemplo, alterações na escolha dos modelos de turbinas. Isto seria exequível porque as turbinas têm um tempo de vida útil inferior a um período climático, e portanto há regularmente substituição de equipamentos. Assim a capacidade adaptativa futura poderia ser tornada elevada. Certamente que não havendo a esperar alterações significativas do recurso eólico, são pouco pertinentes medidas de adaptação, mas para o presente efeito poderemos considerar conceptualmente que a capacidade adaptativa futura é alta.

4.5. Vulnerabilidade futura

Com uma capacidade adaptativa futura elevada, dado que os impactos são neutros, tanto quanto podemos apreciar com a informação actual, a vulnerabilidade futura é também neutra (0).

A concordância é elevada: todas as estimativas sobre intensidade média e variabilidade, tanto a presente como as de outros autores, apontam para impactos baixos. Contudo, a evidência é apenas média, pois há factores que não se estão bem representados nos cenários (direcção do

vento, turbulência, baixas escalas de tempo) e que há indicações diferentes segundo pontos de vista de análise diferentes (intensidade do vento, potência eólica, densidade do ar). Assim a confiança neste resultado é considerada “elevada” a curto prazo mas apenas “média” a longo prazo.

5. Energia da biomassa

5.1. Impacto das alterações climáticas no recurso biomassa

As possibilidades de produção de energia térmica e eléctrica na RAM a partir do recurso biomassa nas suas várias vertentes – biocombustíveis, biomassa para queima, biomassa para electricidade via central de incineração de resíduos – e a partir das várias fontes – óleos alimentares usados, resíduos florestais, resíduos agrícolas, florestas – foram analisadas na primeira fase Projecto ERA-MAC, vd. Rosa e Vieira (2006). As disponibilidades de biomassa florestal foram depois analisadas em maior detalhe na segunda fase deste Projecto, vd. Melim Mendes *et al.* (2006).

Estas análises mostram um recurso biomassa muito multifacetado e que tem considerandos e problemas muito complexos. No entanto, as questões essenciais para tratar o ponto de vista do impacto das alterações climáticas parecem ser apenas duas, como se segue.

Em primeiro lugar, a exploração da biomassa especificamente para produção de energia eléctrica não parece ser sustentável no caso da Madeira, como aliás na maior parte do Continente. O problema é que se gasta mais energia na recolha, destroçamento, acondicionamento e transporte para uma central de queima de biomassa do que o que se obtém depois em electricidade. Assim, o que faz em geral mais sentido é utilizar resíduos de biomassa que há de qualquer forma interesse em recolher, particularmente para limpeza de terrenos – resíduos agrícolas e de jardins, como por exemplo podas, manutenção de caminhos rurais, etc. – e para redução de risco de incêndio – limpeza de matos e florestas, e controlo de espécies exóticas, como variedades de acácia. A disponibilidade destes resíduos depende da produtividade primária, e quer o estudo CLIMAAT II quer o presente estudo indicam que *de forma geral* essa produtividade tenderá a aumentar com o aquecimento previsto, embora não seja claro em quanto, devido à redução em simultâneo da precipitação.

Em segundo lugar, há a considerar que devido à complicada orografia e elevados declives da maior parte da ilha da Madeira, e que a única instalação candidata a receber a biomassa seria a central de incineração de Meia Serra, o potencial *explorável* de resíduos de biomassa circunscreve-se às zonas baixas da costa sul. Ora, os estudos referidos são bem claros em que

a produtividade aumentará sim, mas significativamente apenas nas cotas mais elevadas, acima de 600 m a 700 m. Ou seja, as alterações climáticas não têm impacto significativo no potencial explorável de biomassa.

5.2. Capacidade adaptativa actual

Actualmente, a limitação de produção de energia não está ligada à disponibilidade do recurso biomassa, mas sim a limitações técnicas e operacionais, em particular constrangimentos económicos para assegurar recursos humanos e técnicos para a recolha e transporte. Quer dizer que existe muito mais biomassa do que aquela que é possível recolher, mesmo em anos menos produtivos, e portanto o impacto climático é irrelevante para o nível de aproveitamento. Diremos que a capacidade adaptativa é baixa pois a produção não se pode adaptar a variações no recurso; embora de um ponto de vista da manutenção de uma produção estável de energia a partir de biomassa pudesse ser considerada alta já que é insensível a essas flutuações no recurso.

5.3. Vulnerabilidade actual

Seja qual for a interpretação sobre a capacidade adaptativa actual, os impactos são como se viu neutros, pelo que a vulnerabilidade actual é neutra (0).

A confiança neste resultado é considerada “muito elevada” dado que existem evidências e que há uma concordância de resultados entre vários estudos e vários peritos (incluindo locais) quanto a esta questão.

5.4. Medidas de Adaptação e capacidade adaptativa futura

O maior aproveitamento do recurso biomassa é como se mencionou essencialmente uma questão de aumentar os recursos humanos e técnicos atribuídos às tarefas de recolha e transporte a partir de agricultura, jardins, matos, floresta plantada, natural e exótica. No entanto não podem ser as alterações climáticas a justificar tal esforço dado que o seu efeito se situa em zonas pouco exploráveis, e portanto tais medidas não seriam propriamente uma adaptação. Seja como for para o presente efeito poderemos considerar conceptualmente que a capacidade adaptativa futura pode ser tornada elevada

Uma nota ainda para a utilização de lenhas para aquecimento de residências, embora neste contexto seja uma utilização de importância secundária. Neste caso temos uma conjugação de redução de necessidades de aquecimento e de redução da população, que em sinergia com aumento da produtividade da biomassa, significam que há uma boa capacidade adaptativa.

5.5. Vulnerabilidade futura

Sendo elevada a capacidade adaptativa futura, mas principalmente dado que os impactos são neutros, a vulnerabilidade futura é também neutra (0). A nível secundário, a vulnerabilidade é positiva (+1) para o caso das lenhas para aquecimento de residências.

A confiança nestes resultados é considerada “muito elevada” actualmente dado que a evidência é elevada e que há uma concordância de resultados entre estudos; mas vai diminuindo para períodos futuros dado o impacto cada vez mais incerto das condições de precipitação e dos efeitos dos incêndios.

6. Energia hídrica

6.1. Impacto das alterações climáticas nos recursos hídricos

A produção de hidroelectricidade é na RAM a vertente de energias renováveis mais complexa. Há actualmente dez centrais hidroeléctricas na ilha da Madeira, cf. Fig., sendo responsáveis por 15% a 30% da produção total anual. Ou seja, desde logo se infere uma grande sensibilidade da produção hidroeléctrica no clima.



Figura 5 – Posição das centrais hidroeléctricas na Ilha da Madeira. (EEM, 2015)

O sistema está abundantemente descrito em vários estudos, teses e Planos, e também no website da EEM (2015), com fichas para cada central, pelo que seria redundante refazer aqui mais uma vez essa descrição, bastando mencionar e realçar os factos mais importantes para as questões de alterações climáticas.

De forma geral pode dizer-se que o sistema actual se desenvolveu em torno dos aproveitamentos hidroagrícolas realizados nos anos 50 e até meados de 60 do século passado. O conceito básico é o de aproveitar a energia potencial das quedas entre os níveis de abastecimento (em nascentes, túneis e levadas) e os níveis de utilização (em fins agrícolas, municipais,

abastecimento público, etc.) perturbando muito pouco o volume de água disponível para esses consumos. Há ainda duas centrais, dos anos 90, que aproveitam excedentes de caudais destinados ao abastecimento público e ao regadio que ocorrem durante o inverno (Socorridos e Calheta II), e são por isso mesmo designadas centrais de inverno. Algumas centrais nos níveis mais baixos da ilha aproveitam fluxos provenientes de centrais a montante, e mesmo segundas quedas, como por exemplo Calheta II que aproveita fluxos de Calheta I, mais acima.

As centrais têm câmaras de carga e de regularização, naturalmente dimensionadas de forma adequada ao consumo de água da central, mas que só garantem um armazenamento de energia (potencial) de muito curto prazo.

Recentemente uma estação de bombagem veio complementar a central de Socorridos, com o objectivo garantir a disponibilidade da central durante todo o ano, especialmente nos meses de verão. A operação consiste em turbinar água acumulada numa reserva a cota elevada (Túnel do Covão) nas horas de ponta, e restituí-la por bombagem durante a noite e nos períodos de vazio da procura, aproveitando a disponibilidade de potência em excesso na produção, incluindo de turbinas eólicas, contribuindo assim para maximizar o aproveitamento dos recursos energéticos renováveis. No entanto, não há no sistema nenhuma albufeiras de dimensão que permita regularizar a produção de origem hídrica propriamente dita, quer sazonalmente, quer interanualmente.

Do ponto de vista dos impactos das alterações climáticas, na situação descrita a produção de energia deve ser analisada, tanto do ponto de vista sistémico, do sistema como um todo, onde ressaltam as ligações entre centrais e a partilha de algumas zonas de captação, como do ponto de vista funcional, i.e. do funcionamento de cada central - o que justifica referenciar aqui as características de cada central que são mais relevantes para o presente estudo.

A Central da Calheta (4,6 MW) na ribeira do mesmo nome, está a ca. 660 m de altitude, e aproveita águas com origem na zona do Paúl da Serra, que lhe são conduzidas através de levadas e túneis que reúnem águas de nascentes e intersectam bacias de um numeroso conjunto de ribeiras e seus afluentes, a cotas entre aproximadamente de 1540 m e 830 m.

A Central da Calheta de Inverno (7,3 MW) na vila da Calheta, está à cota ca. 13 m e aproveita água já antes turbinada na Central da Calheta.

A Central do Lombo Brasil, (0,15 MW) fica também perto da Central da Calheta. É uma mini-hídrica que utiliza os caudais captados em galeria para abastecimento público.

A Central Serra de Água (4,8 MW) está a uma cota ca. 570 m, na ribeira da Achada. Funciona em potência máxima apenas nas horas de ponta e no inverno, nos períodos de estio funciona em modo fio-de-água. Utiliza também águas do Paúl da Serra, captadas a ca. 1000 m. Parte dos caudais são turbinados em segunda queda na central da Fajã dos Padres e mesmo, em períodos de maior pluviosidade, na central dos Socorridos.

A Central dos Socorridos (24 MW) fica na margem da ribeira dos Socorridos, à cota de ca. 90 m, em Câmara de Lobos. Utiliza águas de várias origens, incluindo as que vêm da central da Serra de Água (e portanto do Paúl da Serra), e outras captadas ao longo de túneis e em ribeiras, incluindo a própria ribeira dos Socorridos, e ainda águas em excesso destinadas ao regadio – é essencialmente uma central de inverno, como se disse.

A Central da Fajã da Nogueira (2,4 MW) fica junto à ribeira da Ametade, a ca. 625 m. Utiliza águas das levadas da Serra do Faial e do Juncal, captadas entre ca. 1050 m e ca. 970 m. Esta central é especialmente importante nas horas de ponta.

A Central da Ribeira da Janela (3,2 MW) fica na foz da ribeira do mesmo nome, na costa noroeste, à cota de ca. 11 m e é a única em regime de funcionamento permanente em que não se reaproveita a água para irrigação, ou para uma segunda central. Esta central utiliza águas captadas em ribeiras a cotas de ca. 420 m.

A Central da Fajã dos Padres (1,7 MW) fica na base de uma falésia junto ao Cabo Girão e funciona intermitentemente: utiliza caudais excedentes recolhidos a ca. 300 m, quando existem.

O primeiro factor que há a reter, é que a captação primária é feita a altitudes da ordem de 1000 m (Paul da Serra, Serras do Faial e do Juncal), com a excepção da central de Ribeira da Janela em que é da ordem de 400 m. Estas são altitudes para onde se prevê uma redução significativa da precipitação, e mesmo da precipitação oculta, cf. estudos do Projecto CLIMAAT II mas especialmente o relatório sobre o sector de Recursos Hídricos deste mesmo estudo (Prada *et al.*, 2015).

Em segundo lugar temos o especial papel da zona do Paul da Serra, de que depende, de uma forma ou de outra, quase 90% da potência instalada nominal (ca. 43 MW em ca. 48 MW total). Esta é a precisamente a zona que mereceu maior atenção no presente estudo, cf. de novo Prada *et al.* (2015), Capítulo 4, em conjunto com a zona Areeiro/Santo da Serra. A previsão da resposta às alterações climáticas de várias nascentes e galerias representativas do Paul da Serra foi simulada, de acordo com os valores anuais médios estimados no âmbito do CLIMAAT II, para a diminuição da recarga no contexto dos vários cenários climáticos. Os resultados principais são rerepresentados na Tabela 5 para comodidade do leitor.

Tabela 5 – Valores anuais médios estimados para a variação da recarga em dois cenários de alterações climáticas.

MÉDIO PRAZO		LONGO PRAZO	
A2	B2	A2	B2
-31%	-29%	-46%	-39%

Citamos também do estudo de Prada *et al.* (2015) o seguinte parágrafo especialmente relevante: “As galerias e grupos de nascentes situadas nas cotas mais elevadas do Paul da Serra, dos 1000m para cima, são as mais vulneráveis à redução da recarga, uma vez que o nível piezométrico ao baixar, começa por afectar primeiro os caudais das captações mais elevadas cuja situação se torna crítica no caso das nascentes acima da cota 1000m e na galeria do Rabaçal”.

Considerando que a produção hidroeléctrica depende directamente das afluências, e portanto o impacto sistémico aparenta ser grande, de ca. -30% a médio prazo para até ca. 45% a longo prazo.

Do ponto de vista funcional a situação é mais complexa. As centrais de primeira queda (Calheta, Fajã da Nogueira, Ribeira da Janela) em princípio sofrem impacto potencialmente semelhante ao impacto sistémico. Já as outras centrais, que dependem de segundas quedas e excessos de caudais destinados a outros fins, em princípio sofrerão um impacto potencial ainda maior devido à redução dos ditos excessos de caudais.

6.2. Capacidade adaptativa actual

O sistema de aproveitamento de águas, tem vindo a ser robustecido desde os anos 50 do século passado, com mais captações, túneis e outras obras hidráulicas, ganhando capacidade de adaptação, que se reflecte também numa produção hidroeléctrica mais estável. No entanto, como a produção de energia é a última prioridade entre as várias utilizações da água, as centrais de ponta e de inverno, de maior potência nominal, em particular Calheta II e o importante complexo dos Socorridos, beneficiam menos desse aumento de capacidade de lidar com as variações climáticas.

Certo é que actualmente não há albufeiras de dimensão significativa para regularização inter-anual ou intra-anual, pelo que, tudo considerado, consideramos que a capacidade adaptativa é baixa. Tal é corroborado pelas significativas variações da produção hidroeléctrica anual, que seguem variações de pluviosidade anual.

6.3. Vulnerabilidade actual

Tendo em conta a sensibilidade da produção hidroeléctrica global face ao clima, ainda aumentada ao nível de certas centrais, conjugada com uma baixa capacidade adaptativa, a vulnerabilidade actual poderia ser considerada negativa. No entanto, essa não é a percepção das partes interessadas regionais, que apontam o bom registo histórico e têm uma boa apreciação da capacidade dos sistemas hidroeléctricos em lidar com a actual variabilidade climática. Assim a vulnerabilidade actual é considerada “neutra”, tal como para o aproveitamento de outras fontes de energias renováveis.

A confiança neste resultado é considerada “elevada” dado que existe evidência histórica robusta, mas não há completa concordância entre análises e peritos.

6.4. Medidas de adaptação e capacidade adaptativa futura

Para aumentar a capacidade adaptativa seria crucial conseguir o armazenamento de volumes de água que permitissem assegurar uma produção mais estável ao longo do ano, e nos anos mais secos. Sendo difícil construir tais albufeiras dadas as características orográficas do território, na prática é uma solução pouco viável de aumento da capacidade de adaptação, que deste ponto de vista se manteria baixa.

Entretanto, é crucial considerar que, excepto em Ribeira da Janela, a água que passa nas centrais tem destinos muito importantes como o abastecimento público e a agricultura (e mesmo a indústria). Assim, é de esperar que haja um esforço de aumentar as estruturas de captação de água para estes fins, beneficiando de passagem a produção hidroeléctrica. Quer dizer, a análise da capacidade adaptativa futura deveria estar subordinada ao que se estima no sector de recursos hídricos, e depois agravada ainda algo devido à esperada redução de caudais não necessários para tais outros fins.

Entretanto refira-se que à data das primeiras versões deste documento ainda não estavam disponíveis informações sobre medidas de adaptação no sector dos recursos hídricos, mas apenas de vulnerabilidade das estruturas e sistemas actuais, pelo que desde logo se apontou uma possível subestimação da capacidade adaptativa futura e portanto uma sobrestimação da vulnerabilidade. Isso veio a ser confirmado durante o decurso do projecto. Nomeadamente, o PAESI Madeira (2012) e os planos da Empresa de Electricidade da Madeira contemplam medidas para implementar centrais hidroeléctricas reversíveis (i.e. com capacidade de bombagem de um nível inferior de volta a um armazenamento a nível mais elevado). Tem destaque ainda a ampliação em curso do sistema hidroeléctrico da Calheta (EEM, 2014), que inclui a construção de uma albufeira com capacidade de acumulação de ca. 1.000.000 m³, de uma central hidroeléctrica com 30 MW de potência e de uma estação elevatória com 18 MW, e segundo informações recolhidas da EEM, existe também já um estudo prévio para um sistema similar no Aproveitamento Hidroeléctrico do Chão da Ribeira e mesmo cenários de estudo para o Aproveitamento do Chão da Lagoa. Os peritos regionais também demonstraram confiança nas medidas e planos em curso, assim como na existência de mais locais potencialmente adaptáveis a armazenamento de água. Assim considera-se que a capacidade adaptativa futura será pelo menos “média”.

6.5. Vulnerabilidade futura

Consideremos com particular atenção os resultados no sector de recursos hídricos superficiais, vd. Quadro 27 de Prado *et al.*, 2015. Este indica, para as captações ao nível dos 1000 m mais crucial para a produção de energia, uma vulnerabilidade tipicamente muito negativa (-2) a médio prazo e muito negativa a crítica (-3) a longo prazo. Em zonas menos elevadas a vulnerabilidade é tipicamente um escalão abaixo (i.e. menos grave).

Há evidentemente o interesse em assegurar um abastecimento de água estável para fins essenciais, o que terá necessariamente de conduzir a medidas de adaptação no sector. Tais medidas

poderão passar mais por aumentar as captações a níveis elevados que são determinantes na produção de energia ou mais por uma maior eficiência hídrica/redução de consumos, e exploração de aquíferos em zonas mais baixas.

A curto prazo parece haver muito espaço para contrariar a redução de disponibilidades hídricas em altitude através de mais eficiência hídrica no transporte e sistemas de armazenamento, pelo que a vulnerabilidade seria “neutra”. Estas medidas terão no entanto os seus limites pelo que a longo prazo a vulnerabilidade resulta pelo menos “negativa”. A opinião dos peritos regionais é que esta vulnerabilidade não chegará a ser “muito negativa” ou “crítica” porque a longo prazo o sistema energético da Madeira evoluirá muito numa direcção de diversificação de fontes de energia e descentralização da produção.

Seja como for a incerteza nas soluções a adoptar leva a uma qualificação de confiança “média” nestes resultados.

7. Matrizes de vulnerabilidade

Apresenta-se agora na Tabela 6, conforme a metodologia estabelecida neste Projecto, a matriz de vulnerabilidade para a produção de energia a partir de fontes renováveis de energia.

Tabela 6 – Matriz de vulnerabilidade para a produção de energia a partir de fontes renováveis de energia, face às alterações climáticas.

PERÍODO VERTENTES	ACTUAL		CURTO PRAZO			LONGO PRAZO		
		CONFIANÇA	A2	B2	CONFIANÇA	A2	B2	CONFIANÇA
Energia solar térmica	0	Muito elevada	0	0	Elevada	0	0	Elevada
Energia solar fotovoltaica	0	Muito elevada	0	0	Elevada	0	0	Elevada
Energia eólica	0	Muito elevada	0	0	Elevada	0	0	Média
Energia da biomassa	0	Muito elevada	0	0	Elevada	0	0	Média
Energia hídrica	0	Elevada	0	0	Média	-2	-1	Média

8. Conclusões

Analisaram-se os impactos das alterações climáticas na produção de energia a partir de fontes de energias renováveis para as vertentes que já exibem maturidade tecnológica e que potencialmente são sensíveis ao clima: solar (térmica e fotovoltaica), eólica, biomassa (queima) e hídrica.

As possibilidades de aproveitamento de energia solar, eólica e biomassa parecem não ser afectadas significativamente pelas mudanças do clima, considerando basicamente a reduzida dimensão do impacto destas mudanças nos respectivos recursos, e a capacidade de paulatinamente ir ajustando o dimensionamento dos sistemas por ocasião da sua renovação.

Neste contexto, a adaptação faz-se de forma espontânea, em particular por ocasião da substituição ou adição de novos equipamentos, e as medidas de adaptação planeada circunscrevem-se então a alguns ajustamentos de políticas públicas, designadamente na utilização em Planos, Regulamentos e Incentivos, de dados climáticos compatíveis com a mudança climática em curso, e não de dados históricos.

Já no caso da energia hídrica (para produção de electricidade) são estimados impactos e efeitos graves, que vão desde uma redução global da produção hidroeléctrica ao impedimento do funcionamento de algumas das centrais mais importantes, que aproveitam fluxos em excesso de outras utilizações prioritárias da água, particularmente da água captada em zonas altas (referimo-nos claro à Madeira). Para contrariar estes efeitos está em curso a adaptação via planeamento e construção de albufeiras. No entanto a capacidade de lidar com os impactos da redução da precipitação em altitude dependerá em última análise das medidas de adaptação adoptadas para os recursos hídricos no seu todo.

9. Referências Bibliográficas

- › Afonso, T., J. Pinto e A. Rodrigues (2006). *Caracterização do Recurso Eólico no Paul da Serra – Ilha da Madeira*. INEGI, Unidade de Energia e Ambiente. Ref. 2006\990. Estudo para AREAM, 2ª fase do Projecto ERAMAC, contrato 03/MAC/4.3/C3. 75 pp.
- › Aguiar, R. (2013). *Climatologia e Anos Meteorológicos de Referência para o Sistema Nacional de Certificação de Edifícios (versão 2013)*. Relatório para ADENE – Agência de Energia. Laboratório Nacional de Energia e Geologia, I.P., Lisboa, 55 pp.
- › AREAM (2005). *Identificação do Potencial de Energia Hídrica na RAM*. Projecto ERAMAC, Contrato nº MAC/4.3/C1 com a Direcção Regional do Comércio, Indústria e Energia da RAM, co-financiado pelos Programas UE INTERREG IIIB AMC e FEDER. AREAM, 12 pp.
- › CLIMAAT II (2006). *Impactos e Medidas de Adaptação às Alterações Climáticas no Arquipélago da Madeira*. Filipe Duarte Santos e Ricardo Aguiar, Eds. Direcção Regional do Ambiente da Madeira, Funchal, 2006.
- › EEM (2014). *Ampliação do Sistema Hidroeléctrico da Calheta. Estudo de Impacte Ambiental. Volume 3 – Resumo Não Técnico*. Consultora Atkins, para Empresa de Electricidade da Madeira. 31 pp.
- › EEM (2015). http://www.eem.pt/index.php?option=com_content&task=view&id=539&Itemid=476.
- › Junça, F. A. Carvalho, M. Ribeiro, L.F. Ribeiro, A. Rodrigues (2006). *Medição das características detalhadas do vento no Pico Gordo, Madeira*. INEGI e I.P.Bragança. Ref. 2006\990. Estudo para AREAM, 2ª fase do Projecto ERAMAC, contrato 03/MAC/4.3/C3. 14 pp.
- › Magro, C. (2007). *Optimização de Sistemas Híbridos Fotovoltaicos e Eólicos em Zonas Insulares de Diversidade Climática – Arquipélago da Madeira*. Tese de Doutoramento, Universidade da Madeira, ref. 15/D/2007. 192 pp.

- › Melim Mendes, J.M., F. Oliveira, D. Barreto, N. Serralha, E. Olival, C. Henriques, G. Soares, N. Moniz, S. Carvalho e A. Carvalho (2006). *Levantamento do Potencial Energético da Biomassa Florestal na RAM*. Relatório Síntese. 2ª fase do Projecto ERAMAC, contrato 03/MAC/4.3/C3. AREAM, 55 pp.
- › Miranda, P., M. Valente, e P. Ferreira (2003). *Simulação numérica do escoamento atmosférico sobre a ilha da Madeira - efeitos não lineares e de estratificação no estabelecimento do potencial eólico na zona do Paul da Serra*. Centro de Física da Universidade de Lisboa.
- › PAUER (2007). *Estudio de la radiación solar*. M. V. Vázquez, Ed. Projecto PAUER, cofinanciamento POPRAM-III-FEDER. Laboratório de Energia Solar de la Universidade de Vigo para LREC. 43 pp.
- › PPERAM (2000). *Plano de Política Energética da Região Autónoma da Madeira - Ano de referência 2000*. Vice-Presidência do Governo Regional da Madeira, AREAM, Setembro 2002.
- › PAESI Madeira (2012). *Plano de Acção para a Energia Sustentável da Ilha da Madeira*. Resolução 244/2012 do Conselho do Governo da Região Autónoma da Madeira. AREAM, 58 pp.
- › PAESI Porto Santo (2012). *Plano de Acção para a Energia Sustentável da Ilha de Porto Santo*. Resolução 244/2012 do Conselho do Governo da Região Autónoma da Madeira. AREAM, 54 pp.
- › Pereira, J. Carlos, A. Rita Ervilha e J. Chaves Pereira (2005 a). *Avaliação do Potencial Energético Solar na RAM*. Projecto ERAMAC, Contrato nº MAC/4.3/C1 com a Direcção Regional do Comércio, Indústria e Energia da RAM, co-financiado pelos Programas UE INTERREG IIIB AMC e FEDER. LASEF para AREAM, 27 pp.
- › Pereira, J. Carlos, A. Rita Ervilha, R. Reis, J. Chaves Pereira e R. Howard (2005 b). *Avaliação do Potencial Energético Eólico na RAM*. Projecto ERAMAC, Contrato nº MAC/4.3/C1 com a Direcção Regional do Comércio, Indústria e Energia da RAM, co-financiado pelos Programas UE INTERREG IIIB AMC e FEDER. LASEF para AREAM, 77 pp.
- › Prada, S., J. André Reis, V. Barreto, R. Carvalho e P. Freitas (2015). *Recursos Hidricos*. Relatório do Projecto Clima-Madeira, CCIAM, Lisboa (Eds.), 50 pp.
- › Rosa, F. e A. Vieira (2006). *Avaliação do Potencial Energético da Biomassa na RAM*. Projecto ERAMAC, Contrato nº MAC/4.3/C1 com a Direcção Regional do Comércio, Indústria e Energia da RAM, co-financiado pelos Programas UE INTERREG IIIB AMC e FEDER. INETI para AREAM, 87 pp.
- › SCE (2013a). Decreto-Lei n.º 118/2013, Diário da República de 20 de agosto de 2013. *Sistema de Certificação Energética dos Edifícios*. Ministério da Economia e do Emprego.

- › SCE (2013b). Despacho (extrato) n.º 15793-F/2013: Procede à publicação dos parâmetros para o zonamento climático e respetivos dados. 3º suplemento do Diário da República de 3 de dezembro de 2013.
- › Tomé, R. (2013). *Mudanças Climáticas nas Regiões Insulares*. Tese de Doutoramento, Universidade do Açores, Angra do Heroísmo. 136 pp.
- › Vázquez, M., P. Belmonte, J. Navarro, M. Cerqueira e C. Magro (2008). *Atlas de Radiação Solar do Arquipélago da Madeira*. LREC. ISBN 978-989-96043-0-8. 32 pp.

Sumário

Os impactos das alterações climáticas foram examinados para a procura e a oferta de energia, térmica e eléctrica, com recurso a documentos técnicos, estudos académicos anteriores, alguns estudos complementares, e opiniões de peritos e profissionais da área energética da RAM. Os impactos existem mas são de forma geral moderados, com a excepção – única mas importante – da redução de produção de electricidade pela via hídrica, devido à diminuição da precipitação das zonas elevadas.

Consideradas as medidas de adaptação planeada que se poderiam tomar, constata-se que são quase todas medidas no sentido de diminuir a vulnerabilidade da RAM à dependência no abastecimento energia a partir do continente. Naturalmente, essa mesma necessidade tem sido deste há muito sentida na RAM pelo interesse de aumentar a segurança de abastecimento e diminuir a elevada factura energética. Assim, numerosas medidas já têm vindo de forma geral a ser previstas e implementadas em Planos aos diversos níveis de governança. Mais recentemente destacam-se, a nível nacional o PNAER e PNAEE, a nível regional os PAESI Madeira e Porto Santo elaborados ao abrigo do Pacto das Ilhas, e a nível Municipal os PAES elaborados ao abrigo do Pacto dos Autarcas. Isto para além de outros Planos ambientais e de variados Projectos e Acções da AREAM e da EEM. A maior ambição e aperfeiçoamento destes Planos, em todas as vertentes de promoção da eficiência energética nos edifícios e transportes, mais produção de electricidade a partir de fontes de energias renováveis, é uma recomendação geral que fica ainda mais sublinhada pelas pressões de Adaptação. Deste ponto de vista destaca-se no entanto como prioritária a aposta num aumento da capacidade de armazenamento sazonal e interanual de energia, não apenas como suporte a um maior aproveitamento das energias renováveis, mas também como única forma actualmente eficaz de mitigar o forte impacto no sistema hidroeléctrico, em particular na produção das chamadas centrais de Inverno, associado à redução de precipitação que é esperada.

Algumas medidas específicas da Adaptação foram também identificadas, *adicionais* às medidas previstas nos vários Planos energéticos. Destacam-se a adaptação dos terminais de descarga de combustível à subida do nível do mar e o reforço da protecção da Central da Vitória e da zona anexa de armazenamento de combustíveis contra cheias/aluviões, deslizamentos e inundações.

A premência deste tipo de medidas não é no entanto clara devido à actual grande rapidez de alteração do sistema energético em contraste com a progressão relativamente lenta das mudanças climáticas.

1. Introdução

Este relatório analisa as vulnerabilidades actuais do sistema energético da RAM face ao clima, e depois as modificações dessa vulnerabilidade por efeito das alterações climáticas, isto já incorporando a adaptação espontânea. Para os itens que mostram alteração da vulnerabilidade, examinam-se opções de adaptação planeada, e propõem-se as medidas de adaptação consideradas mais exequíveis e mais eficazes, estudando em mais detalhe aquelas que ainda não constam dos grandes Planos energéticos nacionais e da RAM. Assim, aceitando desde logo as políticas energéticas em curso na RAM, pretende-se essencialmente verificar a compatibilidade dos planos e medidas actuais com as mudanças climáticas, e encontrar as prioridades e as medidas adicionais do ponto de vista da Adaptação.

O estudo do Banco Mundial *Climate Impacts on Energy Systems - Key Issues for Energy Sector Adaptation* (Ebinger e Vergara, 2011) fornece uma excelente reflexão sobre as questões de adaptação no sector Energia a nível mundial; aqui faremos uma introdução e enquadramento mais simplificados, mas também mais específicos e pertinentes para a RAM.

Os assuntos do sector energético são geralmente tratados dos pontos de vista complementares da oferta e da procura de energia.

A oferta de energia inclui a produção de energia (térmica ou eléctrica) através de equipamentos que usam recursos energéticos fósseis – carvão, gás natural, petróleo e derivados – ou renováveis – hídrica, solar, eólica, geotermia, e vários modos de aproveitamento de biomassa, da queima directa ao biogás e outros biocombustíveis. No caso da RAM, entendemos excluir a energia das marés e geotermia profunda por falta de locais e recurso favoráveis; das ondas e das correntes marítimas por imaturidade manifesta da tecnologia; e a energia nuclear, cuja viabilidade com a tecnologia actual, requer um universo de consumidores maior que o que existe na RAM. No conceito de oferta de energia também se inclui a transmissão até ao consumo através de vectores energéticos, com realce para a electricidade e para os próprios combustíveis.

Na RAM a situação da oferta de energia é dominada pelo facto de se tratar de ilhas, dependentes em 95% de combustíveis fósseis importados, vd. Balanço Energético da RAM (DREM, 2012).

Uma vulnerabilidade fundamental está portanto logo ao nível da segurança do abastecimento a partir do continente, e depois no armazenamento e na distribuição dos combustíveis dentro da própria ilha. Esta vulnerabilidade tem também um lado económico, nomeadamente a pesada factura energética na aquisição destes combustíveis, e com sensibilidade directa às variações dos seus preços no mercado. Assim em princípio – embora felizmente até agora não na prática – a variabilidade climática pode condicionar a oferta de energia e a preço razoável de energia na RAM, designadamente através de eventos extremos: tempestades no oceano que impeçam ou demorem o reabastecimento energético de origem fóssil e cheias, aluviões, inundações, ou fogos que atinjam locais de armazenamento de combustíveis e/ou perturbem o seu transporte dentro das ilhas.

Um caso especial na oferta de energia é a electricidade, dada a sua importância nas actividades económicas e no dia-a-dia das pessoas. Cerca de 80% da produção de electricidade tem origem em combustíveis fósseis, daí portanto repetirem-se as preocupações antes apontadas sobre o abastecimento às ilhas, armazenamento e transporte internos de combustíveis fósseis.

Porém no caso do sistema eléctrico a insularidade acrescenta problemas extra. As centrais termoeléctricas (duas na Madeira e uma no Porto Santo) não são apenas a origem maioritária da energia eléctrica, são essenciais ao funcionamento da rede eléctrica isolada em cada Ilha, mantendo a qualidade da onda de tensão (estabilidade da frequência) na rede, e compensando a disponibilidade variável das centrais a fontes de energia renovável (FER). No caso da ilha de Porto Santo, a indisponibilidade da Central acarreta a indisponibilidade total de energia na rede. No caso da ilha da Madeira, o impacto não seria tão grave, sendo em princípio abastecer as zonas qualidade de serviço I e II mesmo em situação de paragem da maior Central, a da Vitória.

As centrais FER são muito sensíveis ao clima, também a eventos extremos, mas principalmente devido à variabilidade dos recursos renováveis em todas as escalas de tempo, em particular aos níveis interanual, sazonal e diário. As turbinas eólicas e as instalações fotovoltaicas são um exemplo, mas no caso da Madeira o caso da energia hídrica é o mais importante: as flutuações anuais, mensais e nas sequências de dias sem precipitação têm reflexo directo, embora eventualmente diferido, nos caudais disponíveis para turbinagem, uma vez que não existe significativa capacidade de armazenagem de água nestas escalas de tempo.

Por outro lado põe-se a questão da própria procura de electricidade ser sensível ao clima, o que é evidente por exemplo no caso da elevação da temperatura ambiente que leva a um aumento das necessidades de arrefecimento em edifícios, a ser satisfeitas via ar condicionado (eléctrico). No entanto fica a nota que é menos evidente o impacto do clima noutros tipos de necessidades de energia eléctrica, e também térmica, directa ou indirectamente.

Seja como for as flutuações de disponibilidade das energias renováveis e da procura de electricidade, são então compensadas pelas centrais térmicas, o que torna ainda mais críticas quaisquer vulnerabilidades destas centrais: não apenas as relativas ao abastecimento de combustível já mencionadas, mas também quaisquer ameaças físicas às instalações; e

designadamente quanto ao clima, a eventos extremos que possam resultar em aluviões, deslizamentos, inundações. A questão da elevação do nível do mar também se põe, dada a localização das centrais junto ao mar.

Por um lado, evidentemente que na RAM existe há muito a percepção destas vulnerabilidades no sistema energético. Sendo que este sector assenta muito em tecnologias, pode e tem sido intencionalmente planeado e alvo de numerosas políticas e medidas, em particular para o sistema de abastecimento eléctrico, tendentes também a mitigar estas vulnerabilidades. Assim é de esperar que muitas destas políticas e medidas já contenham elementos de adaptação às alterações climáticas, embora tenham sido desenhadas para responder essencialmente a preocupações com segurança de abastecimento e factura energética. Entretanto, como foram desenhadas para um enquadramento climático estável, histórico, pode haver questões que são agravadas, ou que só se põem, num contexto de mudança climática.

Por outro lado, é preciso considerar que é um sector onde vem ocorrendo uma evolução tecnológica muito rápida e onde periodicamente as instalações e equipamentos são substituídos ou profundamente renovados: desde o lado da oferta, como nas centrais eléctricas, até ao lado da procura, como nos veículos, nos edifícios e nos equipamentos que lá são usados. Esses momentos de substituição ou renovação (quase sempre por sistemas mais eficientes) são oportunidades onde é de esperar que ocorra adaptação espontânea às alterações climáticas, mesmo que não haja consciência ou propósito disso.

Finalmente fazemos notar que neste sector há impactos ao nível de equipamentos e instalações (local) que podem ser diferentes dos impactos ao nível do sistema energético (regional). Como se verá há efeitos locais que podem ser significativos mas tomados em conjunto para uma Ilha ou para a RAM podem não se somar no mesmo sentido, ou não ter expressão significativa que requeira adaptação planeada. Ainda a notar que ao nível local ocorre frequentemente adaptação espontânea por iniciativa dos cidadãos e das empresas; mas é essencialmente ao nível regional que se pode fazer adaptação planeada.

Como já se disse atrás, o desenho de medidas de adaptação planeada no sector energético não se faz num vácuo. Muito pelo contrário, existem numerosos Planos relacionados com questões energéticas, e Medidas já em andamento ou já planeadas. Em geral esses Planos e Medidas são desenhados para diminuir a dependência energética da RAM do exterior, mas como isso tem por efeito também reduzir a vulnerabilidade do sistema energético, acabam por ir no mesmo sentido da adaptação às alterações climáticas.

Destacam-se aqui

- o *Plano de Política Energética da RAM (PPERAM, 2000)*, que embora já com 15 anos ainda constitui o enquadramento para os Planos mais recentes;

- os *Planos de Acção para a Energia Sustentável*, respectivamente para a Ilha da Madeira; (PAESI Madeira, 2012) e para a Ilha de Porto Santo (PAESI Porto Santo, 2012) enquadrados no *Pacto das Ilhas* (2011);
- os *Planos de Acção para a Energia Sustentável* (PAES) elaborados ao abrigo do Pacto dos Autarcas - Energia Sustentável nos Municípios (Pacto dos Autarcas, 2015), que embora sendo em si mesmos encarados como uma medida dos PAESI (Acção 6.2), contêm medidas adicionais, em particular um elenco sob controlo directo dos municípios; destacamos aqui o PAES Funchal (2012), por um lado como exemplo paradigmático dos PAES e por outro dado que é o único presentemente aprovado; embora durante o decurso do presente Projecto tenham sido submetidos para aprovação, em final de 2014, também os PAES para outros municípios da RAM (cf. website Pacto dos Autarcas, 2015);
- e o *Plano de Desenvolvimento do Sistema Eléctrico do SEPM* (EEM, 2014a) da Empresa de Electricidade da Madeira, que embora referente apenas ao período regulatório 2015-2017, revela também muitos aspectos da sua estratégia de médio prazo.

De forma mais secundária, temos a considerar os Planos da EEM de Promoção do Desempenho Ambiental (PPDA, 2014) e de Promoção da Eficiência no Consumo (PPEC, 2014); inclusivé o Plano Regional de Emprego (PRE, 2015) e o Plano Referencial Estratégico Mar Madeira 2030 (PREMAR, 2015) também contêm referências a questões relacionadas com a energia.

Ao examinar estes Planos depara-se-nos um problema metodológico prático. Do ponto de vista do da adaptação às alterações climáticas, distingue-se adaptação espontânea de adaptação planeada. As iniciativas de cidadãos e empresas que não derivam de um planeamento directo da parte do Estado, e.g. que não são forçadas por leis e regulamentos específicos, ou encorajadas por sistemas de incentivos, assim como as que decorrem de políticas gerais já em andamento, a nível europeu, nacional, regional ou municipal, são consideradas parte de uma tendência de base (*baseline*). Tais são por exemplo o caso da substituição de equipamentos por outros mais eficientes e a implantação de produção FER distribuída, em consequência da evolução tecnológica e de redução paulatina de custos. A *baseline* também integra tendências económicas, demográficas, etc., que não podem ser levadas à conta de efeitos de Planos e medidas e portanto é mais do que um cenário de referência do tipo *business as usual*, em que demografia, tecnologia, regulamentos, comportamentos, etc. estão como que congelados no tempo. As acções *autónomas adicionais* a esta *baseline*, de adaptação a um clima diferente, são consideradas então como a adaptação espontânea. As acções *planeadas adicionais* às da *baseline* e à adaptação espontânea, em que a entidade que planeia tem responsabilidade e capacidade (inclusive financeira e legal) para impor o cumprimento do plano, é que são consideradas como medidas de adaptação planeada.

Enquanto os planos da EEM são compatíveis com este ponto de vista, os vários Planos de Acção da RAM não o são. As medidas voluntárias de cidadãos e empresas são consideradas e contabilizadas na esfera dos Planos, e sem uma *baseline* clara. As questões de responsabilidade e capacidade são partilhadas por todos os protagonistas, públicos e privados.

Esta diferença metodológica e de conceitos seria grave se se tratasse aqui de quantificar o impacto de medidas de adaptação no contexto dos Planos, o que não sucede (até dadas as limitações de recursos postos ao dispor do presente Projecto). Assim seguiu-se uma abordagem em que se identificou simplesmente, para cada tema, as medidas que já existem e que contribuem para a adaptação às alterações climáticas, e depois as que são propostas de medidas *adicionais*.

Outras questões que foram consideradas no desenho das medidas são a *compatibilidade* dos planos e medidas com as alterações climáticas em curso, onde se destaca a questão do *horizonte temporal*. É que, sendo estas mudanças climáticas relativamente lentas, em casos como por exemplo a introdução muito rápida de energia FER de características intermitentes, seria contraproducente uma adaptação demasiado súbita a impactos que na verdade só serão significativos daqui a algumas décadas, prejudicando contudo o desempenho e sustentabilidade económica dos actuais sistemas.

As versões 1 a 3 deste documento resultaram essencialmente de estudos; as versões revistas, incluindo a presente versão 5, têm em conta adicionalmente as percepções e opiniões das partes interessadas da RAM, obtidas principalmente através de dois Seminários no Funchal.

2. Metodologia

Conceptualmente, os factores meteorológicos determinam o desempenho dos sistemas energéticos, directamente nalguns casos, noutros através de sucessivas e múltiplas interacções com outros sistemas naturais, artificiais e humanos. Esta arquitectura é tão complexa que há que simplificar e identificar os efeitos que são realmente importantes, daqueles que são de importância muito reduzida, seja logo em teoria seja por constatação na prática.

Uma ferramenta para pensar e fazer esta identificação é o desenho de cadeias de impactos, que no caso do sector energético se elaboram convenientemente considerando a procura e a oferta, para a energia térmica e para a energia eléctrica.

Conceptualmente seria de incluir todos os parâmetros meteorológicos que influenciam os sistemas energéticos (*exposição*), mas tratando-se de tantas questões, tão complexas, e de um sector tão transversal, todos os sistemas estão expostos a todos os parâmetros, pelo que isto seria pouco útil sem uma noção, baseada na experiência e no conhecimento do funcionamento dos sistemas, daquelas conexões que realmente são importantes (*sensibilidade*). Um outro aspecto em que as cadeias de impactos têm de ser simplificadas é na interacção com outros sectores, senão o condicionamento mútuo dos vários sectores impediria qualquer conclusão: apenas as ligações mais fortes são incluídas.

Finalmente, é muito importante notar que os cenários disponíveis de alterações climáticas para a RAM, em termos de eventos meteorológicos extremos, apenas apontam maior extensão e intensidade de ondas de calor e a aumento dos efeitos de tempestades na costa devido à subida do nível do mar. Assim que não é de estranhar a ausência nas cadeias de impactos de eventos extremos como precipitação intensa e/ou de grande duração que origine deslizamentos, cheias rápidas, aluviões, etc. Considerá-los é no entanto importante para a vulnerabilidade de sistemas actualmente mal adaptados, e que devem ser adaptados como medida geral de aumento da resiliência face às alterações climáticas, mas não enquanto resposta específica a uma alteração do clima.

Seleccionadas as cadeias de impactos relevantes, o ideal seria, para cada sistema, analisá-lo em detalhe, obter um modelo, calibrá-lo de acordo com dados experimentais e/ou estatísticas e

simular numericamente o seu funcionamento. Avaliando o seu desempenho com o clima actual, ficaríamos a conhecer a sua *vulnerabilidade* actual, que em princípio ou será neutra (o sistema lida bem com o clima actual) ou será negativa (mesmo no clima actual o sistema apresenta problemas de desempenho). Voltando a simular com o clima futuro, possivelmente acompanhado de cenários demográficos, económicos, e tecnológicos, permitindo isto levar em linha de conta a adaptação espontânea, conheceríamos vulnerabilidade dos sistemas quanto ao clima futuro – o que poderia agora indicar efeitos positivos, não apenas neutros ou negativos. Na passagem, obteríamos a *capacidade adaptativa* que o sistema tem na actualidade e estimativas de *incerteza* (através do uso de vários cenários); poderíamos desenhar medidas de adaptação para melhorá-lo; e testar o efeito dessas medidas com um modelo correspondentemente modificado do sistema, encontrando as mais eficazes.

Na prática, em muito poucos casos este procedimento ideal é possível. Desde logo o tempo de execução e os recursos que foi possível alocar para o presente estudo não são compatíveis com a modelação detalhada dos numerosos sistemas, sua calibração, e vários ciclos de experimentação com medidas. De qualquer forma, em muitos casos simplesmente não existem as séries de medições e estatísticas que seriam essenciais à montagem de modelos detalhados e à sua calibração.

Nestas condições, para estimar vulnerabilidade e capacidade adaptativa, é preciso recorrer essencialmente, por um lado a estudos académicos e técnicos publicados e por outro, ao conhecimento do terreno de peritos e profissionais nos vários sistemas. Ainda assim é por vezes necessário efectuar alguma análise e modelação simplificada de sistemas, para elucidar interacções e efeitos mais incertos.

No caso presente, como documentos técnicos mais relevantes consultados, temos as estatísticas de energia do INE, DREM e da EEM, as estatísticas climáticas do IPMA, a informação sobre o sistema eléctrico que é providenciada *online* pela EEM e pela AIE, e os estudos sobre o potencial de FER executados por iniciativa da AREAM ou pela própria AREAM, a maior parte ao abrigo do Projecto ERAMAC (eólica - Afonso et al., 2006; Junça et al., 2006; hídrica - AREAM, 2005; biomassa - Melim Mendes et al., 2006; Pereira et al., 2005a, 2005b; Rosa e Vieira, 2006) bem como outros sobre radiação solar da alçada do LREC (Magro, 2007; PAUER, 2007; Vázquez et al., 2008).

Quanto a estudos académicos específicos para os efeitos das alterações climáticas no sector energético da RAM as publicações de referência são as do Projecto CLIMAAT II (2006), incluindo os dados e cenários climáticos SRES A2 e B2, e ao documento elaborado para este mesmo Projecto Clima-Madeira, *Potencial das Energias Renováveis na RAM face às Alterações Climáticas* (Aguiar e Magro, 2015). Há alguns artigos científicos que mencionam a RAM mas sem material adicional relevante.

Quanto aos contributos de peritos e profissionais nos vários sistemas, destaca-se o *workshop* que teve lugar no Funchal em 12 de fevereiro de 2015. Este *workshop* foi muito proveitoso no aperfeiçoamento da percepção dos problemas específicos da RAM, na melhoria das cadeias de

impactos, e na selecção de medidas a aplicar, de entre um elenco mais vasto de medidas potencialmente aplicáveis nas cinco vertentes Conhecimento, Tecnologia, Governança, Socioeconomia e Natureza.

Finalmente, na apreciação de medidas de adaptação, tiveram-se em conta os diversos Planos já referidos na Secção 1, a que se juntou o mais recente *Plano de Acção para a Investigação, Desenvolvimento Tecnológico e Inovação* na RAM (PIDT&I, 2012), especialmente as propostas do Grupo de Trabalho em Energia, Mobilidade e Alterações Climáticas (PIDT&I EMAC, 2012). Foi considerado em mais detalhe um conjunto de estudos e Projectos, a maioria deles da iniciativa da AREAM em parceria com entidades de I&D, com destaque para os recentes ENNEREG - Regions paving the way for a Sustainable Energy Europe (ENNEREG, 2013) e TRES -Transição para um Modelo Energético Sustentável (TRES, 2015); estes estudos estão em consonância com os referidos Planos ou até mesmo implementam medidas específicas destes, especialmente dos PAESI e PAES municipais. Refira-se que apenas as medidas do e.g. no PAES Funchal puderam ser cruzadas com as medidas de adaptação dado que os restantes foram submetidos só no final de 2014, já com os estudos do presente Projecto muito adiantados.

Um outro aspecto é que se apreciam apenas as medidas de adaptação directamente dirigidas aos problemas ou oportunidades, não desconhecendo que existem medidas de suporte às primeiras, tais como reforço de fiscalização de regulamentos, apoios financeiros e incentivos, monitorização (cf. eg. Quadro 30 dos PAESI).

3. Resultados

3.1. Procura de Energia Térmica

3.1.1. Preparação de águas quentes

Este item refere-se à diminuição das necessidades de aquecimento de águas. A elevação da temperatura ambiente reflecte-se na temperatura da água de abastecimento. Assim para uma dada temperatura-alvo de utilização, o calor a fornecer é menor do que nas condições actuais.

O efeito foi investigado no Projecto CLIMAAT II, teoricamente pois não há dados estatísticos tão detalhados que permitam uma análise deste efeito. A situação não mudou mas a avaliação CLIMAAT II foi um pouco mais refinada no presente Projecto.

Vulnerabilidade actual: neutra.

Os sistemas de aquecimento de águas estão adaptados às condições climáticas actuais.

Impactos locais: pequenos.

Dependem da temperatura de consumo, podendo estimar-se entre ca. -2% para utilizações domésticas a ca. -4% para utilizações industriais. Isto no longo prazo, no curto-médio prazo o efeito é inferior a -1%.

Impacto regional: muito pequeno.

O efeito agregado na procura de calor na RAM é incerto dada a referida falta de dados estatísticos, mas será certamente muito inferior a -1%.

Capacidade adaptativa: positiva.

O efeito está directamente ligado à temperatura.

Vulnerabilidade futura: neutra a curto prazo, ligeiramente positiva a longo prazo.

A adaptação é totalmente espontânea, e como o impacto é benéfico (redução das necessidades de energia) pode ser positivo, embora pequeno..

Vulnerabilidade cruzada com outros sectores: não.

Confiança: Muito elevada.

Não há incerteza na computação do efeito para um qualquer sistema de aquecimento de águas. A confiança nestes resultados é muito elevada pois decorrem apenas de factores meteorológicos com evolução consistente em todos os cenários.

Lacunas de conhecimento:

Seria interessante calcular o efeito a nível sectorial ou regional; para tal seriam necessários dados estatísticos muito mais detalhados do que os que existem, acerca dos volumes e temperaturas de consumo de águas quentes nos sectores de edifícios e industrial.

Medidas de adaptação:

Trata-se de uma oportunidade, que pode ser explorada com a tecnologia existente.

Favorece então as medidas do tipo

- instalação de sistemas solares e equipamentos conexos (Acções dos PAESI 1.1, 1.2, 1.9, 1.10, 2.1, 3.4, 3.7, 3.8, 3.9, 3.10, 3.12; e.g. no PAES Funchal 1.1, 1.3, 1.8, 1.12, 1.16)
- regulamentação que obriga à adopção de tecnologias (PAESI 7.2, 8.16)
- apoios financeiros e incentivos à adopção de tecnologias (PAESI 8.2, 8.3, 8.4, 8.6)
- outras acções de suporte que potenciam a adopção de tecnologias, como aconselhamento (PAESI 8.1), sensibilização (PAESI 8.7, 8.8), formação e educação (PAESI 8.11, 8.12),

Quando se examinam estes Planos só a solução de aquecimento via energia solar é considerada. No entanto as condições climáticas parecem vir a ser ainda mais favoráveis para as soluções tipo “bomba de calor”. Se a percentagem de energias renováveis no *mix* energético da electricidade continuar a subir, esta solução técnica pode até ser mais interessante do ponto de vista energético e de emissões do que a energia solar, tendo em conta que esta não dispensa de apoio a electricidade ou combustíveis fósseis. Recomendam-se estudos para explorar esta questão (medida do tipo *Conhecimento*).

Informação em mapas: zonas edificadas.

3.1.2. Climatização de edifícios

Este item refere-se à diminuição das necessidades de aquecimento e ao aumento das necessidades de arrefecimento em edifícios, dada a elevação da temperatura ambiente exterior. O aumento da extensão das ondas de calor, mais até do que as temperaturas máximas atingidas, é especialmente importante, dado que a inércia térmica dos edifícios tem limites na capacidade de mitigar o efeito de aumento da temperatura exterior.

O efeito foi investigado no Projecto CLIMAAT II, através de modelação térmica de uma residência e de um hotel típicos na zona do Funchal. No presente Projecto o assunto foi analisado com a mesma abordagem adicionalmente para um pequeno edifício de serviços, sendo que as conclusões gerais mantiveram-se: as necessidades de arrefecimento aumentam mais do que se reduzem as necessidades aquecimento mas a dimensão deste efeito depende muito do tipo e da utilização do edifício. Nos *workshops* confirmou-se que já se começa a sentir a maior necessidade utilização de ar condicionado em edifícios de serviços, na zona do Funchal. No entanto também foi indicado que o efeito depende muito da altitude, i.e. faz-se sentir na costa mas não nas zonas mais altas, onde as necessidades de arrefecimento continuam quase nulas.

Vulnerabilidade actual: neutra.

Os edifícios actuais estão preparados para lidar com o clima actual, com raras excepções por ocasião de ondas de frio ou de calor.

Impactos locais: muito variáveis.

O efeito das alterações climáticas não deverá ser significativo para residências, mas poderá valer no longo prazo entre ca. +5% a ca. +30% dos consumos de energia de climatização para edifícios de serviços, consoante o seu tipo, uma vez que isso depende da tolerância à variação da temperatura interior que é admitida, e.g. relativamente ampla em escritórios e escolas, muito baixa em hotéis e certas zonas de hospitais. Isto em zonas baixas, enquanto, digamos a partir dos 300 m, o efeito deverá ser nulo, ou mesmo positivo (redução de necessidades) nas cotas mais elevadas, digamos a partir dos 600 m.

Impacto regional: muito pequeno.

Tendo em atenção a diversidade de edifícios, a sua dispersão em altitude, e a circunstância de que poucos tipos edifícios possuem aparelhos de ar condicionado para satisfazer eventuais necessidades de arrefecimento, estima-se um efeito agregado muito pequeno, certamente não significativo no curto-médio prazo.

Capacidade adaptativa: muito baixa a curto prazo, média a longo prazo.

O efeito está directamente ligado à temperatura e em particular a mitigação das necessidades de arrefecimento só pode ser feita com a renovação dos edifícios (mais isolamento, melhores janelas, etc.), o que em geral só acontece no médio-longo prazo, dado o longo tempo de vida útil de cada edifício, e o custo de tais intervenções. Quanto à redução das necessidades de aquecimento, ela pode ser ainda mais potenciada por medidas de eficiência energética, muitas vezes semelhantes às destinadas ao arrefecimento, como mais isolamento, melhores janelas.

Vulnerabilidade futura: negativa a curto prazo, neutra a longo prazo.

É de esperar que transitoriamente não seja possível por uma questão de custos adaptar os edifícios em si, mas apenas reagir via sistemas de climatização (AVAC). No entanto cabe dizer que a nível de cada edifício em concreto a vulnerabilidade pode ser negativa (e.g. hotéis e outros edifícios de serviços em zonas mais baixas) ou positiva (residências em zonas elevadas).

A longo prazo e embora a capacidade adaptativa seja baixa, a adaptação paulatina dos edifícios será feita – seja via regulamentação térmica, seja via sistemas AVAC – e o impacto a nível regional (i.e. considerados todos os tipos de edifícios e níveis de altitude) é estimado como sendo muito pequeno.

Vulnerabilidade cruzada com outros sectores: muito pouca.

Identifica-se apenas o caso do Turismo, uma vez que os hotéis na zona costeira são um tipo de edifício com vulnerabilidade negativa dada a prática (actual, contudo) de bandas de conforto interior muito estreitas.

Confiança: média.

Lacunas de conhecimento:

Para reduzir a incerteza das estimativas seria necessário, para cada tipologia de edifícios e por bandas de altitude (i) conduzir inquéritos estatísticos sobre as características construtivas, os equipamentos instalados, e o comportamento dos utilizadores; (ii) fazer cenários da taxa de renovação dos edifícios e da evolução das características construtivas (ii) conduzir simulações de modelos de edifícios representativos, ao nível horário, para vários cenários climáticos.

Medidas de adaptação:

Neste particular já estão em marcha medidas de adaptação planeada via Sistema de Certificação de Edifícios (SCE, 2013a, 2013b). De facto não só os regulamentos em si tendem a tornar os edifícios novos e profundamente renovados, melhores a lidar com o clima, através de exigências regulamentares mais severas sobre as características construtivas e os próprios equipamentos de climatização, como os parâmetros e dados horários oficiais para simulação dos edifícios a nível regulamentar já integram o efeito das alterações do clima (Aguiar, 2013).

Adicionalmente, os PAESI Madeira e Porto Santo (2012) contêm medidas que vão no mesmo sentido de melhorar o comportamento térmico dos edifícios, embora na avaliação da sua eficácia talvez se esteja a demasiado em iniciativas voluntárias de cidadãos e empresas, embora apoiados por acções de sensibilização e informação, e potencial acesso a certos fundos do IDR e IDE-RAM. O problema é que a rotação e renovação do parque de edifícios é neste momento muito baixa, o que em nossa opinião não é apenas conjuntural, mas resultado de macro-tendências que já vêm dos anos 2000 e vão persistir.

Seja como for as medidas pertinentes são a nível de melhoria da envolvente e dos equipamentos de climatização e aparecem já previstas no enquadramento da certificação energética:

- a nível nacional, no SCE,
 - Regulamento de Edifícios de Habitação (REH);
 - Regulamento do Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS);
- a nível municipal, e.g. no PAES Funchal,
 - certificação de edifícios municipais (Acção 1.6);
 - certificação de edifícios não-municipais (1.17 e 1.19), embora aparentemente em redundância com o SCE;
 - regulamentação municipal de eficiência energética adicional à nacional (4.14);
 - e reforço da fiscalização (4.16), embora não seja claro que organismos que irão implementar esta medida;
 - (além da medida 4.15, de obediência a regulamentação, que é redundante com o SCE)

Se a nível regional, nas Acções dos PAESI não aparece este tipo de medidas de melhoria da envolvente de edifícios, ela aparece contudo ao nível municipal nos PAES.

Informação em mapas: zonas edificadas abaixo de ca. 400 m

3.2. Procura de Energia Eléctrica

Cabe dizer como introdução que desde logo a procura de energia eléctrica está ligada à de energia térmica através da climatização de edifícios antes discutida, i.e. pela utilização de equipamentos eléctricos de climatização. No entanto, parece inútil explorar este ponto pela mesma via da simulação de edifícios, já que se iria reproduzir, apenas com menor dimensão, os efeitos encontrados no caso da térmica, e que se iria chegar à mesma conclusão de que não seriam necessárias medidas de adaptação planeada, adicionais às que estão já em curso.

No entanto tomando outro ponto de vista, é conhecido que em muitas regiões – por exemplo no continente, ou até de forma mais pertinente, em ilhas açorianas (Ferreira e Mendes, 2009) – existem correlações entre consumo global de electricidade e temperatura média ambiente, ao nível horário e diário, que podem ser utilizadas em modelos de previsão do consumo. Ora como a elevação da temperatura ambiente pelo efeito das alterações climáticas é certa, pode-se esperar que isso se vá reflectir no consumo de energia eléctrica e até quantificar esse efeito através das ditas correlações¹.

Com respeito à metodologia utilizada pela EEM na previsão de consumos, as informações recebidas² indicam que é parcialmente heurística. São tomados em conta: o diagrama de carga do dia anterior e do mesmo dia, na semana anterior; as variações dos diagramas de cargas entre os mesmos dias e semanas diferentes; o dia da Semana e do mês (dia útil, fim de semana, feriado); a estação do ano; as ocorrências de eventos especiais/fenómenos sociais; os Planos de Intervenções do Transporte e Distribuição; e realmente, o que seria de especial interesse para a situação que pretendemos analisar, a previsão meteorológica da temperatura, humidade e nebulosidade. Contudo, o método não é totalmente algorítmico, contendo uma componente heurística, permitindo ao engenheiro de turno ajustar a previsão com base na sua análise pessoal.

Foram pedidos alguns dados a entidades regionais que permitissem um estudo exploratório. Para o período 2008-2014 foram obtidos, respectivamente do IPAM e da EEM, dados diários de temperatura mínima, máxima e média, e dados horários de potência aparente solicitada na rede eléctrica. Os estudos efectuados não detectaram nenhuma correlação significativa entre temperaturas diárias e potência média ou de pico diárias, mesmo quando removido o marcado perfil semanal de consumo. Isto atribuiu-se ao que parecem ser outras influências dominantes no consumo eléctrico de outros factores, tais como as sazonalidades da temperatura, das necessidades de iluminação, e das actividades económicas, neste caso com destaque para a actividade no sector Turismo (cf. Informação Extra).

Em conclusão não se pôde encontrar evidência suficiente de impactos das alterações climáticas na procura de energia eléctrica. Seja como for há medidas a considerar nesta vertente,

¹ A questão de já existirem correlações similares na RAM não pode ser elucidada em definitivo no tempo disponível para este Projecto, embora haja notícia de propostas similares de estudos para a EEM, integrada numa Plataforma de Modelização para a previsão do consumo eléctrico na RAM.

² Com base na resposta da EEM a perguntas de esclarecimento solicitadas através da DROTA.

designadamente medidas de eficiência energética (equipamentos, regulamentos, comportamentos). A razão é que contribuem para baixar a vulnerabilidade dos sistemas energético da RAM, ao reduzir a necessidade de importação de combustíveis fósseis (ver secções 3.3. e 3.4 a seguir) aliás em sinergia com a diversificação do mix de fontes na oferta de energia.

Assim podemos indicar as categorias de medidas

edifícios

- equipamentos mais eficientes (PAESI 1.2, 1.6, 1.7, 1.8, 1.9, 1.10, 1.11, 1.12, 2.1, 2.2, 3.1, 3.5, 3.6, 3.11; a nível municipal³ ver e.g. no PAES Funchal 1.4, 1.5, 1.7, 1.11, 1.12, 1.13, 1.14, 1.18)
- melhorias na envolvente dos edifícios (SCE; e.g. no PAES Funchal 1.4, 1.17, 4.15)
- recuperação de calor (PAESI 2.1)
- controlo mais eficiente de iluminação⁴, máquinas e motores (PAESI 1.5, 3.5, 3.11; e.g. no PAES Funchal 1.11, 1.18, 4.2)
- práticas de poupança e uso mais racional de energia (PAESI 1.2, 1.3, 1.5, 1.7, 1.8, 1.9, 1.10, 2.1, 3.2, 3.7, 3.8, 3.9, 3.10, 3.12; e.g. no PAES Funchal 1.15, 1.20)
- acções de suporte às anteriores, como
 - monitorização de consumos (PAESI 3.2, 3.6, 3.7, 3.8, 3.9, 3.10, 3.12; e.g. no PAES Funchal 1.5, 6.9)
 - auditorias energéticas (PAESI 3.7, 3.8, 3.9, 3.10)
 - fiscalização da aplicação de regulamentos (PAESI 8.16, embora não seja clara a capacidade legal da AREAM e Municípios face à ADENE para fiscalizar o SCE; e.g. no PAES Funchal 4.16)
 - certificação, e apoio à certificação energética (SCE; e.g. no PAES Funchal 1.6, 1.19)⁵
 - apoios financeiros e incentivos (PAESI 8.2, 8.3, 8.4; e.g. no PAES Funchal 6.3, 6.4)

³ N.B.: é muitas vezes difícil perceber se as acções dos PAESI são redundantes ou sobrepostas com as dos PAES municipais; na dúvida optou-se por indicar todas porque o objectivo aqui é identificar a presença ou não de medidas nas diversas categorias. Cf. também a nota na Introdução relativa às muitas medidas que não são em si planeadas, viz. decisões dos cidadãos e empresas, estando o planeamento propriamente dito nas respectivas medidas de suporte, tais como como informação, incentivos, etc.; mas ambas foram identificadas.

⁴ cf. e.g. fichas do Projecto ENNEREG (2013)

⁵ vd. também e.g. Projecto EEQAI-Escolas (2013)

- aconselhamento (PAESI 8.1, 8.6; e.g. no PAES Funchal 6.2)
- formação e educação (PAESI 8.11, 8.13; e.g. no PAES Funchal 6.7, 6.13, 6.14)
- sensibilização (PAESI 8.7, 8.9; e.g. no PAES Funchal 6.5, 6.6, 6.8, 6.11) ⁶

indústria

- recuperação de calor (PAESI 2.1, 6.7; e.g. no PAES Funchal 1.23)
- aumento dos isolamentos (PAESI 3.3; e.g. no PAES Funchal 1.23)
- acções de suporte às anteriores, como
 - monitorização de consumos e auditorias energéticas (não explicitamente contemplado nos PAESI, embora sob controlo em diversa legislação e planos de nível nacional)
 - fiscalização da aplicação de regulamentos (PAESI 8.15)

iluminação pública (incluindo semáforos)

- mais eficiência, melhor controlo (PAESI 3.13; e.g. no PAES Funchal 1.21, 1.22,)⁷

transportes

- veículos mais eficientes e adequados aos fins (PAESI 4.1, 4.2, 4.3, 4.4; e.g. no PAES Funchal 2.7, 2.9)
- melhoria dos comportamentos de condução (PAESI 4.1, 4.2, 4.3, 8.12; e.g. no PAES Funchal 2.3, 2.12)
- maior disponibilidade de transportes públicos (e.g. no PAES Funchal 2.6, 4.10)
- maior utilização do transporte público (PAESI 4.5, suportado por 6.3)
- maior escolha, e possibilidade de escolha, de deslocações a pé ou de bicicleta (implícito em PAESI 6.3 mas sem acções dirigidas específicas; e.g. no PAES Funchal 2.10, 2.11, 4.8, 4.9)
- melhorias ao nível do ordenamento do território (PAESI 6.1 e diversos planos de nível municipal, e.g. no PAES Funchal 4.1, 4.3, 4.12, 4.13, 4.14)
- melhorias ao nível do planeamento da mobilidade (PAESI 6.1, 6.3; e.g. no PAES Funchal 2.5, 4.4, 4.5, 4.6, 4.7) ⁸

⁶ cf. e.g. Projectos ESEENUR (2008), ENNEREG (2013), EEQAI-Escolas (2013), TRES (2015).

⁷ cf. e.g. Projectos ENNEREG (2013) e Planos de Promoção da Eficiência no Consumo da EEM (PPEC, 2014).

⁸ cf. vários Projectos de I&D com a empresa *Horários do Funchal*, e.g. *Ad Personam*, *Seemore*, *Hibrimac*, *Civitas*,

- evitar necessidades de deslocações, por exemplo via
 - maior uso de tecnologias de informação e comunicação
 - possibilitar e promover teletrabalho

aquisição de bens e serviços (“green procurement”)

- critérios na contratação pública (PAESI 7.1, 8.7; e.g. no PAES Funchal 5.1)

É de realçar que os PAESI contemplam diversas medidas para a promoção da mobilidade eléctrica. Em termos de redução do uso de combustíveis fósseis o efeito da mobilidade eléctrica em princípio é positivo se a penetração das FER no mix energético da electricidade for significativa. No entanto como se aumenta a procura de energia eléctrica, quando o sistema de produção de energia eléctrica está vulnerável às alterações climáticas, como é o caso (cf. secção 3.4), a mobilidade eléctrica pode ser contraproducente. Contudo, na nossa apreciação e dos peritos regionais, crê-se que isso não se passará devido à lentidão da progressão da adopção do veículo eléctrico e dos próprios efeitos mais severos das alterações climáticas. Portanto, crê-se que a promoção da mobilidade eléctrica está correcta se for feita dentro de um ritmo de expansão moderado. Poderá valer a pena promover estudos específicos a este respeito.

3.3. Oferta de Energia Térmica

Em princípio há um impacto directo da temperatura na eficiência das máquinas térmicas, mas como investigado no Projecto CLIMAAT II, este efeito é tão pequeno que cabe na categoria de neutro. Assim este item refere-se ao potencial impacto do clima no abastecimento de combustíveis: importação, desembarque, armazenamento e distribuição nas Ilhas, e ao impacto nos recursos biomassa (para queima, seja nas residências, seja na central de incineração de RSU de Meia Serra) e solar térmico (águas quentes sanitárias).

3.3.1. Segurança do abastecimento de combustíveis

Vulnerabilidade actual: neutra.

A insularidade da RAM traz consigo uma vulnerabilidade essencial que é a dependência no abastecimento de combustíveis por via marítima (como se disse, a RAM tem cerca de 95% de dependência energética do exterior). Problemas nos portos de origem ou tempestades no mar podem atrasar as entregas. No desembarque, igualmente pode haver problemas por ocasião de tempestades, com destaque para o terminal de gás natural no Caniçal. Também o transporte de combustíveis dentro da RAM, sendo feito todo por estrada, é sensível a precipitação intensa e efeitos conexos como inundações e aluviões, isto claro que em particular na Ilha da Madeira. Com particular preocupação refere-se o chamado “pipeline virtual”, camiões com depósitos de gás que abastecem a zona de armazenamento próximo à central termoeléctrica da Vitória a partir da ZFI do Caniçal.

De forma similar as zonas de armazenamento podem ser afectadas; aqui, causa de novo particular preocupação a zona de armazenamento de gás para a central termoeléctrica da Vitória, que está próximo da embocadura da ribeira dos Socorridos e do mar propriamente dito, tornando o local vulnerável, especialmente se ocorrerem em conjunto cheias na ribeira, maré alta e sobreelevação de tempestade do nível do mar.

Contudo o que o registo histórico evidencia, e que é suportado pela opinião dos peritos regionais, é que até agora não houve de facto problemas e há capacidade de lidar com os que surgirem, dentro das condições climáticas actuais. Portanto a vulnerabilidade actual tem de ser considerada neutra.

Impactos locais: muito pequenos.

Uma vez que *não se esperam mais eventos extremos* em resultado das alterações climáticas, o impacto destas tem a ver basicamente com a elevação do nível do mar para as infra-estruturas costeiras, em particular terminais de descarga e zonas de armazenamento já mencionadas, que agrava o efeito da sobreelevação de tempestade. No entanto a subida do nível do mar é lenta, da ordem de alguns mm por ano, e só é significativa a longo prazo.

Impacto regional: muito pequeno a neutro.

Dado que existe capacidade dispersa de armazenamento de combustíveis, o impacto de um

corde temporário de abastecimento pode ser em parte compensado, de forma que os impactos locais não se reflectem integralmente no nível regional.

Capacidade adaptativa: média.

Na sua maior parte a vulnerabilidade decorre da própria insularidade. Existe alguma capacidade de adaptação quanto à elevação do nível do mar, uma vez que as infraestruturas costeiras têm de ser periodicamente renovadas, o que fornece oportunidades de adaptação, admitindo boas práticas.

Vulnerabilidade futura: neutra.

Uma vez que não se espera aumento dos eventos extremos como tempestades e chuva intensa, no essencial a vulnerabilidade não se altera por efeito das alterações climáticas. A excepção é relativa ao nível do mar, mas nesse caso a capacidade adaptativa está presente.

Vulnerabilidade cruzada com outros sectores: negativa.

Quanto maior a dependência energética do exterior, maior a vulnerabilidade, de forma que mais procura de energia a nível sectorial pode agravar a vulnerabilidade. Contudo, a situação parece ir mais no sentido de uma redução da procura. Como se viu na secção 3.1.1., não é por via das alterações climáticas que a procura poderá aumentar significativamente, e as tendências demográficas, a progressiva modernização dos equipamentos (mais eficientes), as medidas de eficiência energética e especialmente o aumento de penetração de energias renováveis na produção de electricidade previstas nos PAESI e que tudo indica continuarão e até se intensificarão para além de 2020, apontam pelo contrário para uma redução da procura de combustíveis fósseis e portanto até uma redução da vulnerabilidade.

Confiança: elevada a curto prazo, média a longo prazo.

Na prática a redução da vulnerabilidade dependerá da eficácia dos PAESI e planos que se lhe seguirem.

Lacunas de conhecimento:

Seria interessante avaliar vários cenários demográficos, económicos e tecnológicos para uma melhor compreensão do impacto de problemas no abastecimento exterior de energia.

Medidas de adaptação:

- Aumentar a capacidade de armazenamento de energia na RAM
Esta medida está contemplada nos PAESI, com o objectivo de aumentar para 20% em 2020, em 20% o número de dias de autonomia de armazenamento de energia primária, em relação a 2005. Pretende-se conseguir isto por um lado via medidas de eficiência energética que reduzem a procura de energia primária de origem fóssil, e de forma directa, na Madeira pela construção de instalações de armazenamento de gás natural, e de sistemas hídricos reversíveis, como é o caso do empreendimento “Calheta III” (EEM, 2014b), no Porto Santo pela construção de instalações de armazenamento de biocombustíveis. O todo é ajudado de

forma indirecta mas muito importante pelas tendências de redução da procura de energia. Notamos que aqui esta medida se refere à vulnerabilidade do abastecimento, mas a parte de sistemas hídricos reversíveis tem impacto no aumento da capacidade de absorção de FER na produção de energia eléctrica, cf. secções seguintes.

- Levar em conta a elevação do nível do mar quando são renovadas as infraestruturas costeiras (referimo-nos em particular ao terminal do Caniçal).
- Reforço da protecção da zona de armazenamento de combustíveis próxima à central termoelectrica da Vitória, ou melhor ainda, mudança de local.

Informação em mapas:

Estradas

Terminal de gás natural do Caniçal

Parque de Armazenamento de combustíveis junto à Central Termoelétrica da Vitória

3.3.2. Energia Solar Térmica

No caso da energia solar espera-se um pequeno aumento do recurso energético, mas enquanto no Projecto CLIMAAT II isso era estimado ter alguns reflexos em aumento da produção dos sistemas solares térmicos, um exame mais detalhado no presente Projecto não encontrou reflexos significativos no seu desempenho (cf. Aguiar e Magro, 2015).

Medidas de adaptação:

Não pertinente (não há impacto no recurso).

Os Planos regionais como os PAESI, e municipais como o e.g. no PAES Funchal, contêm é claro várias medidas de aproveitamento de energia solar térmica, que não são afectadas pelas alterações climáticas.

3.3.3. Biomassa para queima

Para o caso da biomassa, espera-se que as alterações climáticas tragam uma maior produtividade de matos e florestas, portanto presumivelmente aumentando a disponibilidade de biomassa para energia, seja para queima em residências seja como co-combustível na central de incineração de RSU Meia Serra, que produz electricidade e calor; contudo, existem constrangimentos que modificam esta perspectiva.

Vulnerabilidade actual:

neutra. Os sistemas de queima de biomassa estão adaptados às condições climáticas actuais.

Impactos locais:

positivos. A produtividade de matos e florestas aumentará de forma geral mas muito em particular nas zonas mais altas (CLIMAAT II, 2006; Correia e Pereira, 2015).

Impacto regional:

neutro. O efeito local na disponibilidade de biomassa dá-se nas zonas altas, no entanto quase toda a oferta é obtida das zonas mais baixas, tanto pela proximidade ao consumo como pela dificuldade de acesso e inviabilidade económica de recolha nas zonas mais elevadas. Este resultado, que se infere dos documentos técnicos e das análises do sector Agricultura e Florestas dos Projectos CLIMAAT II e do presente Projecto, foi confirmado pelos contributos dos peritos regionais recolhidos no workshop de 12 de fevereiro de 2015.

Capacidade adaptativa:

biomassa - baixa.

Na prática a disponibilidade de biomassa actual já parece ser suficiente para satisfazer uma grande parte da procura de calor da Ilha da Madeira. Contudo a recolha está condicionada pela proximidade ao consumo e pela dificuldade de acesso e inviabilidade económica de recolha nas zonas mais elevadas.

Vulnerabilidade futura:

neutra.

Mesmo na presença de capacidade adaptativa os impactos são demasiado pequenos para alterar a vulnerabilidade actual.

Vulnerabilidade cruzada com outros sectores:

sim.

A existência de mais incêndios na presença de alterações climáticas pode eliminar os benefícios do aumento de produtividade.

Confiança:

elevada a curto prazo, média a longo prazo.

Devido à crescente incerteza dos modelos climáticos para o futuro, e também crescente dependência nos impactos e adaptações em outros sectores, em particular nas questões de risco e luta contra incêndios.

Lacunas de conhecimento:

Estes assuntos estão sob constante reanálise por parte da comunidade científica e dos tecnólogos da área, designadamente sobre a viabilidade energética (análise de ciclo de vida) e económica do aproveitamento da biomassa.

Medidas de adaptação:

Neste caso trata-se de aproveitar uma potencial oportunidade em resultado das alterações climáticas. À primeira vista as medidas deveriam pois ser no sentido de aumentar o uso de biomassa para produção de energia, e designadamente na Central de Meia Serra. No entanto a situação não é tão simples como parece, mesmo já admitindo que a maior produtividade não é anulada por mais incêndios.

A viabilidade da utilização de biomassa para produção de electricidade deve ser vista sob os pontos de vista de impacto ambiental, económico, energético, e de emissões de GEE. De uma forma geral, pode dizer-se que os resultados das análises costumam ser positivos para a queima de lenhas propriamente ditas (Gonçalves, 2010), quando a concentração de biomassa é elevada e a distância à central energética é da ordem das dezenas de quilómetros (Pinto *et al.*, 2013) e se essa central é dedicada à produção de energia (Mann e Spath, 1997) ou faz co-incineração com combustíveis fósseis (Ferreira *et al.*, 2014). No entanto as mesmas análises também mostram que há sensibilidade dos resultados a vários parâmetros técnicos e económicos, pelo que em situações distintas das mencionadas, como é o caso da Madeira, a bondade da utilização de resíduos florestais e matos para energia eléctrica não é *a priori* uma evidência.

Do ponto de vista energético, há a considerar a energia gasta na recolha (apanha e/ou corte, estilhamento, acondicionamento) e transporte, o que quase sem excepção envolve consumos de gasóleo, vs. a energia eléctrica produzida na queima, o que depende das características técnicas da central e também do tipo de biomassa. Os consumos de energia na recolha e transporte de biomassa dependem muito da acessibilidade das fontes de resíduos florestais e matos e da distância e acessos à central (e.g. Pinto *et al.*, 2013). Ora no caso particular da Madeira sabemos que os acessos são difíceis pela orografia complicada. E se há aumento de produtividade da biomassa, tem lugar nas zonas mais altas da Ilha, onde esta dificuldade de acesso é aumentada. Note-se também que em centrais não dedicadas à biomassa, como é o caso da Central de Meia Serra, a eficiência de conversão é comparativamente modesta (Mann e Spath, 1997). E finalmente notemos que a energia fóssil que é gasta tem de ser comparada não com a sua queima em substituição de RSU na Central de Meia Serra, mas sim com a substituição de queima de gás natural na Central Térmica da Vitória, que é uma central bastante eficiente.

Do ponto de vista económico, é crítico o preço que a central paga à biomassa entregue e ao preço de compra da electricidade emitida para a rede. Outro factor importante a pesar em decisões serão os novos empregos criados na recolha de biomassa. Mas no caso da Madeira há ainda a ter em conta a situação muito particular da viabilidade económica da própria central de Meia Serra. Com efeito, desde 2009 que a quantidade de RSU entregue tem vindo a diminuir (Valor Ambiente, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013). Este problema foi primeiro compensado com o desvio para incineração de resíduos verdes (podas, jardins) que em princípio se destinariam a compostagem mas para cujos produtos se veio a constatar haver pouca procura. Contudo, a partir de 2011 esta redução de RSU já se traduz mesmo numa redução da produção eléctrica, piorando os balanços económicos. De acordo com as perspectivas demográficas de redução de população, e de aumento das taxas de reciclagem dos RSU, é de esperar que esta tendência se mantenha, e mesmo se agrave. Parece evidente que a queima de biomassa florestal / matos seria importantíssima para a Central de Meia Serra. E evidentemente que esta Central tem de continuar a existir na RAM, já que não há alternativa para o destino dos RSU da RAM, até pelos cada vez mais exigentes critérios ambientais da União Europeia.

Do ponto de vista ambiental parece-nos que o principal problema seria a redução da fertilidade associada à remoção de nutrientes com os matos e resíduos da biomassa florestal. Como a

biomassa é co-incinerada com RSU, nem se coloca a opção de devolver as cinzas de biomassa aos solos; e a fertilização artificial teria impactos sérios em emissões de N₂O.

No entanto também há a considerar o co-benefício da redução do risco de incêndio, se toda esta recolha de biomassa estiver associada a programas de limpeza das matas e florestas. A quantificação desse co-benefício é difícil. À primeira vista seria importante, dados os impactos positivos paisagísticos e de redução de desastres naturais. No entanto esses resíduos teriam de ser removidos especificamente das zonas com significativo risco de incêndio, o que se constata não ser a sempre a situação, segundo as análises deste mesmo Projecto. E há ainda a questão da reposição dos nutrientes nos solos, o que pode ser feito por queima local dos resíduos e matos, numa estratégia alternativa ao encaminhamento da biomassa para a Central de Meia Serra.

Em conclusão a possibilidade de aproveitamento prático da oportunidade que coloca à RAM o aumento da produtividade da biomassa em zonas altas da Madeira, depende de forma complexa de questões ambientais, técnicas, e económicas.

A medida fundamental aqui é pois *aumentar o conhecimento* sobre este assunto. É de notar que este tipo de estudo está em linha com um dos preconizados pelo grupo de trabalho em Energia, Mobilidade e Alterações Climáticas do *Plano de Acção para a Investigação, Desenvolvimento Tecnológico e Inovação na RAM*, (PIDT&I, 2012).

Informação em mapas:

Central de incineração de RSU de Meia Serra.

Manchas de matos e florestas coincidentes com zonas de significativo risco de incêndio.

3.4. Oferta de Energia Eléctrica

Em princípio há um impacto directo da temperatura na eficiência nos motores e turbinas de acopladas a geradores eléctricos, mas como investigado no Projecto CLIMAAT II, este efeito é tão pequeno que cabe na categoria de neutro. Assim este item refere-se aos sistemas e centrais FER, às centrais termoeléctricas e ainda, à transmissão de electricidade (linhas de transporte de distribuição a vários níveis de tensão).

Medidas (geral):

O aumento da produção de electricidade a partir de FER reduz a vulnerabilidade da RAM ao abastecimento energético do exterior por combustíveis fósseis.

Neste contexto pode dizer-se que as estratégias, políticas e medidas da RAM de aumentar a componente de energia solar fotovoltaica no *mix* da electricidade, estão em linha com a adaptação às alterações climáticas. Assim por exemplo o Objectivo 2 dos PAESI é precisamente “Reduzir a dependência do exterior”, com as metas em 2020 de aumentar para 20% a participação das FER na procura de energia primária, e para 50% a participação faz FER na produção de electricidade.

3.4.1. Energia Solar Fotovoltaica

Como mencionado antes, espera-se um pequeno aumento do recurso energético solar, mas algum efeito contrário da temperatura na eficiência de conversão fotovoltaica, de forma que as simulações conduzidas no presente Projecto não encontraram reflexos significativos no desempenho de sistemas fotovoltaicos (cf. Aguiar e Magro, 2015).

Medidas de adaptação:

Não pertinente (não há impacto no recurso).

Os Planos regionais e municipais contêm é claro várias medidas de aproveitamento de energia solar fotovoltaica (PAESI Madeira 5.4; PAESI Porto Santo 5.2; e.g. no PAES Funchal 3.2, 3.3) e de suporte ao seu aproveitamento (PAESI Madeira 6.5; PAESI Porto Santo 5.4), que não são afectadas pelas alterações climáticas.

3.4.2. Energia Eólica

As mudanças no recurso eólico foram examinadas pelo Projecto CLIMAAT II, mas de novo com mais detalhe no presente Projecto. A nível anual a mudança climática parece ser muito pequena; e embora a nível sazonal haja variações relativamente ao clima actual, os resultados das simulações de sistemas eólicos representativos não indicaram alterações significativas na produção anual.

Medidas de adaptação:

Não pertinente (não há impacto no recurso).

Os Planos regionais e municipais contêm é claro várias medidas de aproveitamento de energia eólica (PAESI Madeira 5.3; PAESI Porto Santo 5.1; e.g. no PAES Funchal 3.2, 3.3) e de suporte ao seu aproveitamento (PAESI Madeira 6.5; PAESI Porto Santo 5.4), que não são afectadas pelas alterações climáticas.

3.4.3. Energia Hídrica

A energia hídrica é a única vertente das FER que apresenta uma sensibilidade grande às alterações climáticas. Esta questão foi examinada com pormenor na já citada publicação do presente Projecto sobre a produção FER, Aguiar e Magro (2015), se onde se extraem para aqui apenas os aspectos principais.

As dez centrais hidroeléctricas da ilha da Madeira são actualmente responsáveis por 15% a 30% da produção eléctrica total anual. Desta variação da contribuição hidroeléctrica se infere logo uma grande sensibilidade ao clima. De forma geral as centrais aproveitam as quedas entre os níveis de abastecimento (em nascentes, túneis e levadas) e os níveis de utilização (em fins agrícolas, municipais, abastecimento público, etc.) perturbando muito pouco o volume de água disponível para esses consumos. Há duas centrais “de inverno” especialmente importantes, que aproveitam excedentes de caudais destinados ao abastecimento público e ao regadio durante o inverno, Socorridos e Calheta II. Certas centrais nos níveis mais baixos da ilha aproveitam fluxos provenientes de centrais a montante, e mesmo segundas quedas, como por exemplo Calheta II que aproveita fluxos de Calheta I, mais acima.

As centrais têm câmaras de carga e de regularização, mas que só garantem um armazenamento de energia de muito curto prazo. A central de Socorridos possui uma estação elevatória que durante as chamadas horas de vazio aproveita excessos de potência disponível, por exemplo de energia eólica, bombeando água de jusante para um reservatório elevado a montante, o que aumenta a disponibilidade da central (e optimiza o aproveitamento da energia eólica).

Vulnerabilidade actual: neutra.

A produção hidroeléctrica é sensível ao clima, designadamente ao valor anual e ao perfil sazonal da precipitação. Embora existam câmaras, reservatórios, e o sistema de bombagem dos Socorridos, não há albufeiras de uma dimensão que permita regularizar a produção de origem hídrica propriamente dita, nem a nível interanual nem a nível sazonal. No entanto o sistema hidroeléctrico em si, no contexto mais vasto do sistema energético da Madeira, encontra-se adaptado ao clima actual.

Impactos locais: graves.

O primeiro factor que há a reter, é que a captação primária é feita a altitudes da ordem de 1000 m (Paul da Serra, Serras do Faial e do Juncal), com a excepção da central de Ribeira da Janela em que é da ordem de 400 m. Estas são altitudes para onde se prevê uma redução significativa da precipitação, e mesmo da precipitação oculta, cf. estudos do Projecto CLIMAAT II mas especialmente o relatório sobre o sector de Recursos Hídricos do Presente Projecto (Prada et al., 2015). Como

segundo factor importante temos o especial papel da zona do Paul da Serra, de que depende, de uma forma ou de outra, quase 90% da potência instalada nominal (ca. 43 MW em ca. 48 MW total). Esta é a zona que mereceu maior atenção no estudo de Prada et al. (2015), em conjunto com a zona Areeiro/Santo da Serra. A resposta às alterações climáticas de várias nascentes e galerias representativas do Paul da Serra foi simulada os resultados principais indicaram uma diminuição da recarga da ordem de -30% a médio prazo e -40% a -46% a longo prazo. É importante também compreender a forma, o mecanismo pelo qual essa diminuição se dá (sic. Prada et al., 2015): "...as galerias e grupos de nascentes situadas nas cotas mais elevadas do Paul da Serra, dos 1000 m para cima, são as mais vulneráveis à redução da recarga, uma vez que o nível piezométrico ao baixar, começa por afectar primeiro os caudais das captações mais elevadas cuja situação se torna crítica no caso das nascentes acima da cota 1000 m e na galeria do Rabaçal".

Assim a produção das centrais de primeira queda (Calheta, Fajã da Nogueira, Ribeira da Janela) em princípio sofrerá um impacto semelhante ao da diminuição da recarga. Já as outras centrais, que dependem de segundas quedas e excessos de caudais destinados a outros fins, em princípio sofrerão um impacto ainda maior dado que dependem de excessos de caudais, que neste contexto de alteração climática tendem a desaparecer.

Impacto regional: grave.

Do ponto de vista sistémico, onde se têm em conta as ligações entre centrais e a partilha de algumas zonas de captação, e considerando que a produção hidroeléctrica depende directamente das afluências, o impacto é pelo menos da ordem da diminuição da recarga, digamos -30% a médio prazo para até ca. -45% a longo prazo; mas no limite superior, a longo prazo, se realmente desaparecerem os excessos de caudal que alimentam as importantes centrais de inverno, estima-se que o impacto poderá chegar aos -80%.

Capacidade adaptativa: baixa a média.

O sistema de aproveitamento de águas, tem vindo a ser robustecido desde os anos 50 do século passado, com mais captações, túneis e outras obras hidráulicas, ganhando capacidade de adaptação, que se reflecte também numa produção hidroeléctrica mais estável. No entanto, como a produção de energia é a última prioridade entre as várias utilizações da água, as centrais de ponta e de inverno, de maior potência nominal, em particular Calheta II e o importante complexo dos Socorridos, beneficiam menos desse aumento de capacidade de lidar com as variações climáticas. E como não há (por enquanto) albufeiras de dimensão significativa para regularização inter-anual ou intra-anual, o sistema hidroeléctrico em si acaba por seguir de perto os ritmos da precipitação. No entanto as medidas e planos para aumentar de forma muito significativa a resiliência do sistema estão em marcha, ver mais à frente.

Vulnerabilidade futura: neutra a negativa.

Esta avaliação resulta da combinação de impactos graves com capacidade adaptativa baixa a média. Os peritos locais concordam em que realmente, com um sistema energético melhorado mas ainda no essencial semelhante ao actual, a vulnerabilidade futura seria muito negativa a crítica. No entanto o paradigma energético mudará de tal forma, com mais eficiência no consumo, descentralização da

produção, diversificação de fontes de energia, e sistemas avançados de armazenamento de energia, que a solicitação das centrais hídricas será muito menor do que actualmente.

Vulnerabilidade cruzada com outros sectores: elevada.

Como a geração de energia hidroeléctrica não é o uso mais nobre da água, os impactos das alterações do clima dependem em boa parte do tipo de medidas aplicadas nos recursos hídricos para compensar as reduções da precipitação. Se a estratégia for de compensar a redução de adução de água em altitude (com destaque para o Paul da Serra) com mais esforço de captação e maior eficiência hídrica no transporte até às zonas baixas, isso vai mitigar a redução da produção hidroeléctrica. Se pelo contrário a estratégia passar por aumentar as captações em zonas mais baixas e melhorar a eficiência hídrica ao nível da distribuição e utilização final, abandonando de certa forma o sistema que existe em maior altitude, isso vai conduzir ao limite superior dos impactos previstos para a produção hidroeléctrica.

Confiança: média.

A confiança neste resultado é considerada "média" dado que existe a evidência estatística e a análise do sistema hidroeléctrico e do seu funcionamento permitem vários pontos de vista. Além de que há incerteza elevada ao nível da estratégia de adaptação que será tomada para os recursos hídricos.

Lacunas de conhecimento:

Melhor conhecimento poderia ser obtido via utilização de um modelo de simulação de todo o sistema hídrico/hidroeléctrico da ilha da Madeira, enquadrado por um modelo "macro" demográfico, económico, e da procura e oferta de energia.

Medidas de adaptação:

Como se discutiu acima, a abordagem à adaptação depende em parte da estratégia no sector de recursos hídricos.

Conceptualmente existem três tipos de medidas para mitigar a redução da actual contribuição da energia hidroeléctrica:

- i) aumento da captação e adução de água em altitude (PAESI Madeira 5.2);
- ii) redução de perdas no transporte até às centrais;
- iii) aumento do número de centrais (PAESI Madeira 5.2).

Como se disse as duas primeiras soluções são possíveis mas têm um alcance limitado, e para mais muito condicionado à estratégia no sector de recursos hídricos, que possivelmente terá mais ênfase na mudança de fontes de captação para furos a níveis mais baixos e aumento da eficiência na distribuição e utilização de água. A terceira opção actualmente ainda é possível, mas a médio-longo prazo parece fazer pouco sentido multiplicar centrais quando sabemos à partida que vão receber progressivamente menos afluências com o passar dos anos.

Contudo, se em si mesma a produção hidroeléctrica no modelo actual parece condenada a diminuir, é de todo previsível e desejável que ela tenha um enorme papel a desempenhar no futuro do sistema eléctrico da Madeira, como reguladora da variabilidade das FER numa grande gama de escalas de tempo, da horária à anual.

Evidentemente que existe na RAM uma aguda percepção da vulnerabilidade da produção hidroeléctrica às variações do clima, mesmo do clima actual. Por isso o PAESI Madeira e os planos da EEM já contemplam medidas para implementar centrais hidroeléctricas reversíveis (i.e. com capacidade de bombagem de um nível inferior de volta a um armazenamento a nível mais elevado). Tem destaque a ampliação em curso do sistema hidroeléctrico da Calheta (EEM, 2014b), que inclui a construção de uma albufeira com capacidade de acumulação de ca. 1.000.000 m³, de uma central hidroeléctrica com 30 MW de potência e de uma estação elevatória com 18 MW. Segundo informações recolhidas da EEM, existe também um estudo prévio para um sistema similar no Aproveitamento Hidroeléctrico do Chão da Ribeira e mesmo cenários de estudo para o Aproveitamento do Chão da Lagoa.

Este tipo de solução técnica, embora com perdas em torno de 30%, permite armazenar energia de origem FER, em particular eólica, durante as horas de vazio e restituí-la durante as horas de ponta. Permite também armazenar energia da primavera ou do outono (períodos de procura mais baixa de electricidade) para o verão ou o inverno (procura mais elevada), ou possivelmente mesmo de um ano mais chuvoso para outro mais seco. Há bastantes anos que estas soluções vêm sendo investigadas por iniciativa da EEM (Pereira da Silva *et al.*, 2005a, 2005b, 2009; Peças Lopes *et al.*, 2009). Estes estudos e o Plano de Desenvolvimento do Sistema Eléctrico do SEPM para 2015-2017 (EEM, 2014a) mostram que são efectivamente fundamentais para o aumento da penetração das FER no *mix* energético da electricidade na Madeira.

Ou seja, os Planos e medidas que estão a ser tomadas para incrementar a penetração das FER são na prática as mesmas que se aconselhariam para adaptação às alterações climáticas.

A médio-longo prazo esta estratégia pode ter de se alterar, seja por esgotamento de locais favoráveis para albufeiras, seja por aparecimento de outras soluções de armazenamento de grandes quantidades de energia; pelo que certamente convém ir acompanhando os desenvolvimentos técnicos a nível mundial.

Informação em mapas: Centrais hidroeléctricas.

3.4.4. Centrais Termoeléctricas

As centrais termoeléctricas (CT) na Ilha da Madeira são duas: a da Vitória, na embocadura da Ribeira dos Socorridos, pertença da EEM; e a do Caniçal, na ZIF, propriedade da AIE (esta é, propriamente dita, uma central de co-geração). Estas duas CT estão ligadas por uma linha de 60 kV e são responsáveis, em média, por cerca de 80% da produção de electricidade para a Ilha da Madeira, mas com destaque para a CT Vitória, com cerca de 60%. Na Ilha de Porto Santo

também existe uma CT, da EEM, responsável por 93% da energia eléctrica consumida. Neste caso os impactos climáticos são estimados muito pequenos, pelo que o restante desta secção se debruça sobre os problemas na ilha da Madeira.

Vulnerabilidade actual: neutra.

Existe desde logo uma vulnerabilidade intrínseca à insularidade, a se estar a lidar com redes isoladas. De facto estas CT não são apenas a origem maioritária da energia eléctrica, são essenciais ao funcionamento da rede eléctrica isolada em cada Ilha, mantendo a frequência da rede, e compensando a disponibilidade variável das centrais FER. Em particular para a ilha da Madeira, reforça-se que embora de dimensão bem diferente, cada uma das CT é essencial para a boa operação do sistema eléctrico público, sendo que o deslastre de cargas numa delas ou um problema na ligação de 60 kV origina interrupção de abastecimento. Isto acontece por vezes na sequência de problemas relacionados com o clima, designadamente eventos extremos como tempestades e incêndios, como foi confirmado por peritos regionais no *workshop* de 12 de fevereiro de 2015. No entanto é também de referir que dado o paulatino aumento da potência instalada em FER, o abastecimento à maioria dos consumidores hoje em dia já poderia em princípio ser retomado em pouco tempo mesmo numa situação como a descrita.

Outras vertentes que poderiam contribuir para uma avaliação negativa, seriam a vulnerabilidade já discutida na secção 3.3.1 sobre o abastecimento de combustíveis às CT, mas em particular à CT Vitória; e ainda para a CT Vitória, preocupações quanto à sua proximidade da ribeira dos Socorridos, que pode ser palco de cheias e aluviões, e de vertentes que podem sofrer deslizamentos. No entanto esta vulnerabilidade recebeu a classificação de neutra, cf. secção 3.3.1.

Foi considerado pelos peritos regionais não ser impossível, mas ser muito improvável ter um conjunto de circunstâncias em que todos os potenciais impactos negativos ocorram simultaneamente.

Impactos locais: neutros.

A sensibilidade das CT (e em particular da CT Vitória) ao clima, passa quase só por eventos extremos de precipitação, de que não se esperam mais em resultado das alterações climáticas.

Impacto regional: negativo.

Esta avaliação resulta de que a redução da produção hidroeléctrica (de origem climática) vai obrigar ao reforço da produção termoeléctrica.

Capacidade adaptativa: média.

A curto prazo é possível para as CT lidar com pedidos de mais produção para compensar as perdas na hidroelectricidade. Quanto ao médio-longo prazo estão em andamento medidas para aumentar a penetração das várias FER no *mix* energético (vd. PAESI Madeira, 2012), e o rumo da política europeia de longo prazo e também esse, pelo que a pressão sobre as CT deve ser aliviada. No entanto, dada a elevada variabilidade interanual da precipitação é concebível que no processo possam ocorrer episódios em que a potência instalada nas CT não seja suficiente.

Seja como for, o sistema eléctrico está sob vigilância permanente e a instalação de mais potência térmica é possível em relativamente pouco tempo. Finalmente, relativamente aos eventos extremos, algo que não pode ser mudado facilmente é a posição das CT, em particular da CT Vitória, para fazer face aos riscos relacionados, dado que para o local convergem as principais linhas de transporte de electricidade; neste particular a capacidade adaptativa é baixa. Tudo considerado e pesado, estimamos a avaliação de “médio” para a capacidade adaptativa.

Vulnerabilidade futura: neutra.

Uma vez que não se espera aumento dos eventos extremos como tempestades e chuva intensa, no essencial a vulnerabilidade das CT neste aspecto não se altera por efeito das alterações climáticas, i.e. continua negativa. Apenas o aumento do risco de incêndio coloca algumas cautelas acerca da linha de 60 kV entre as duas CT. No entanto neste como nos restantes aspectos, estima-se que a capacidade adaptativa seja suficiente para lidar com o impacto regional negativo.

Vulnerabilidade cruzada com outros sectores: sim, com Recursos Hídricos.

Em princípio poderiam surgir agravamento de vulnerabilidade por outros sectores via aumento da procura de energia, mas como se viu não é o caso; inclusive pode haver uma redução da procura. Aspectos de interacção com o sector de recursos hídricos já foram tratados e incluídos nas análises.

Confiança: média a longo prazo.

Esta avaliação incerteza reflecte a incerteza ao nível das medidas para os recursos hídricos, e da eficácia dos PAESI e de outros programas futuros do mesmo tipo.

Lacunas de conhecimento:

A confirmação das estimativas de impacto e vulnerabilidade seria melhor feita através da utilização de um modelo de simulação de todo o sistema eléctrico da ilha da Madeira, cf. outras indicações de lacunas de conhecimento anteriores.

Medidas de adaptação⁹:

Na CT Vitória, protecção contra deslizamentos e reforço da protecção já existente contra cheias/aluviões na ribeira de Socorridos.

Informação em mapas:

Centrais termoeléctricas – N.B. não foi possível até agora obter as coordenadas geográficas mas apenas o nome dos locais, cf. EEM (2015). Linha de 60 kV entre ZIF Caniçal e CT Vitória.

⁹ Uma medida sugerida durante o workshop de 12 de fevereiro de 2015 foi, a médio-longo prazo, a ligação por cabo submarino da RAM ao continente africano, o que eliminaria alguns constrangimentos e certamente a vulnerabilidade intrínseca de uma rede eléctrica isolada como as da Madeira e de Porto Santo.

4. Conclusões

Os impactos das alterações climáticas não são significativos para as grandes questões da procura e oferta de energia, com a grande excepção da produção de electricidade pela via hídrica.

Pelo lado da procura de energia não se estima haver impactos significativos, quer na energia térmica, quer eléctrica, por efeito das alterações climáticas.

Pelo lado da oferta de energia, a análise de consequências potenciais de eventos extremos identificou como medidas de adaptação planeada a tomar a médio-longo prazo, a elevação dos terminais de descarga de combustível de acordo com a subida do nível do mar; e o reforço da protecção da Central da Vitória contra cheias/aluviões, deslizamentos e inundações, assim como da zona de armazenamento de combustíveis que lhe está próxima (ou mudança de local).

Quanto às tendências climáticas na oferta de energia, o panorama é mais complexo. Na energia solar não se esperam impactos significativos. Há uma possível mas não clara oportunidade na biomassa para queima. O impacto realmente gravoso que se identificou foi uma redução da adução de caudais das zonas elevadas que abastecem as centrais hidroeléctricas da Madeira, tornando mais crítica qualquer vulnerabilidade das centrais térmicas que compensam as variações de energia hídrica (e outra renovável).

Assim as medidas mais importantes de adaptação passam por reforçar a segurança de funcionamento das centrais térmicas, aumentar a contribuição de sistemas de outros tipos de fontes de energias renováveis. A nosso ver trata-se prioritariamente solar fotovoltaica e energia eólica. A energia da biomassa deverá receber mais estudos que demonstrem um balanço energético globalmente positivo da sua utilização em larga escala. Também não é clara a opção pela energia solar térmica para aquecimento de águas e ambiente, face a soluções alternativas do tipo bomba de calor, especialmente considerando segundo tudo indica um mix futuro na electricidade com bastante mais energia renovável. Uma aposta em outras tecnologias FER, em especial aquelas ainda imaturas, é uma opção legítima da RAM mas que não podemos considerar prioritária em termos de Adaptação.

Consensual e prioritário sempre, será aumentar a capacidade de armazenamento de energia em larga escala. Com a tecnologia actual e nas condições da Ilha da Madeira isto significa transformação das centrais hídricas que o permitam em sistemas do tipo reversível, com albufeira. No entanto esta transformação deve ser paulatina, como recorda a EEM, adequando a capacidade do sistema eléctrico às necessidades de consumo, já que um excessivo sobredimensionamento do sistema electroprodutor poderia originar uma fraca utilização de algumas instalações, perigando a sua sustentabilidade económica.

Em paralelo a este conjunto de medidas e prioridades na oferta é desejável uma maior eficiência energética, o que em sinergia com as tendências demográficas e tecnológicas em curso assegurará a progressiva redução de importações de combustíveis fósseis, a grande vulnerabilidade da RAM a nível energético.

Constata-se que as grandes categorias de medidas que é desejável adoptar para lidar com tais impactos graves das alterações climáticas, na prática coincidem com as que já vêm sendo planeadas, quer estrategicamente já no Plano de Política Energética de 2000, quer mais recentemente a nível regional nos Planos de Acção para a Energia Sustentável enquadrados no Pacto das Ilhas, nos Planos similares a nível municipal enquadrados pelo Pacto dos Autarcas, assim como nos Planos para o sistema electroprodutor da Empresa de Electricidade da Madeira e também por iniciativas da Agência Regional de Energia e Ambiente da Madeira.

5. Referências Bibliográficas

- › Afonso, T., J. Pinto e A. Rodrigues (2006). *Caracterização do Recurso Eólico no Paul da Serra – Ilha da Madeira*. INEGI, Unidade de Energia e Ambiente. Ref. 2006\990. Estudo para AREAM, 2ª fase do Projecto ERAMAC, contrato 03/MAC/4.3/C3. 75 pp.
- › Aguiar, R. (2013). *Climatologia e Anos Meteorológicos de Referência para o Sistema Nacional de Certificação de Edifícios (versão 2013)*. Relatório para ADENE – Agência de Energia. Laboratório Nacional de Energia e Geologia, I.P., Lisboa, 55 pp.
- › Aguiar, R. e C. Magro (2015). *Potencial das Energias Renováveis na RAM face às Alterações Climáticas*. CCIAM – FCUL, Lisboa, e DROTA Madeira, Funchal. 26 pp.
- › AREAM (2005). *Identificação do Potencial de Energia Hídrica na RAM*. Projecto ERAMAC, Contrato nº MAC/4.3/C1 com a Direcção Regional do Comércio, Indústria e Energia da RAM, co-financiado pelos Programas UE INTERREG IIIB AMC e FEDER. AREAM, 12 pp.
- › CLIMAAT II (2006). *Impactos e Medidas de Adaptação às Alterações Climáticas no Arquipélago da Madeira*. Filipe Duarte Santos e Ricardo Aguiar, Eds. Direcção Regional do Ambiente da Madeira, Funchal, 2006.
- › Correia, A.V. e J.S. Pereira (2015). *Agricultura e Florestas*. Relatório Sectorial do Projecto Clima-Madeira, CCIAM, Lisboa (Eds.), 40 pp.
- › DREM (2013). Balanço Energético 2012 da RAM. Acedido em <http://estatistica.gov-madeira.pt/index.php/download-now/economica/energia-pt/balanco-energetico/quadros>
- › Ebinger, J. e W. Vergara (2011). *Climate Impacts on Energy Systems- Key Issues for Energy Sector Adaptation*. The International Bank for Reconstruction and Development/The World Bank, Washington. 224 pp. ISBN: 978-0-8213-8697-2.

- › EEQAI-Escolas (2013). *Ação Técnica e Didáctica para a Eficiência Energética e a Qualidade do Ar Interior nas Escolas da RAM*. Programa Intervir+, Programa Operacional de Valorização do Potencial Económico e Coesão Territorial da RAM (contrato MADFDR-01-0143-FEDER-000002) e Secretaria Regional da Educação e Recursos Humanos da RAM. AREAM.
- › EEM (2014a). *Plano de Desenvolvimento do Sistema Eléctrico do SEPM. Sistema Electroprodutor e Rede de Transporte e Distribuição em MT e AT. Período Regulatório 2015 – 2017*. Madeira e Porto Santo. Empresa de Electricidade da Madeira. 69 pp.
- › EEM (2014b). *Ampliação do Sistema Hidroeléctrico da Calheta. Estudo de Impacte Ambiental. Volume 3 – Resumo Não Técnico*. Consultora Atkins, para Empresa de Electricidade da Madeira. 31 pp.
- › EEM (2015). Website da Empresa de Electricidade da Madeira. <http://www.eem.pt/>
- › ENNEREG (2013). *Projecto ENNEREG - Regions paving the way for a Sustainable Energy Europe*. Intelligent Energy Europe Programme, Contract No: IEE/09/250.661/S12.558228. <http://regions2020.eu/cms/sec/ennereg>
- › ESENUK (2008). *Projecto Informação, conhecimento e educação sobre utilização racional de energia e energias renováveis*. Contrato 05MAC/4.3/C6 do Programa Interreg IIIB e da Vice-Presidência do Governo Regional da Madeira. AREAM. Ver <http://www.aream.pt>
- › Ferreira, J. M. e A. B. Mendes (2009). *O Efeito de Factores Climáticos no Consumo de Energia Eléctrica*. CEEAplA Working Paper No. 15/2009. 19 pp. Electricidade dos Açores, Universidade dos Açores, e CEEAplA.
- › Ferreira, J.V., H. Viana, B. Esteves, L. Cruz Lopes e I. Domingos (2014). Life cycle assessment of residual forestry biomass chips at a power plant: a Portuguese case study. *Int. J. Energy and Environmental Engineering*, Vol. 5. Springer, DOI 10.1007/s40095-014-0086-4.
- › Gonçalves, M- (2010). *Análise ambiental e energética da produção de Eucalyptus globulus para conversão em energia eléctrica*. MSc. Engenharia do Ambiente, Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- › Junça, F. A. Carvalho, M. Ribeiro, L.F. Ribeiro, A. Rodrigues (2006). *Medição das características detalhadas do vento no Pico Gordo, Madeira*. INEGI e I.P.Bragança. Ref. 2006\990. Estudo para AREAM, 2ª fase do Projecto ERAMAC, contrato 03/MAC/4.3/C3. 14 pp.
- › Magro, C. (2007). *Optimização de Sistemas Híbridos Fotovoltaicos e Eólicos em Zonas Insulares de Diversidade Climática - Arquipélago da Madeira*. Tese de Doutoramento, Univerdade da Madeira, ref. 15/D/2007. 192 pp.
- › Mann, M.K. e P.L. Spath (1997). *Life Cycle Assessment of a Biomass Gasification Combined-Cycle Power System*. National Renewable Energy Laboratory, USA. 160 pp.

- › Melim Mendes, J.M., F. Oliveira, D. Barreto, N. Serralha, E. Olival, C. Henriques, G. Soares, N. Moniz, S. Carvalho e A. Carvalho (2006). *Levantamento do Potencial Energético da Biomassa Florestal na RAM*. Relatório Síntese. 2ª fase do Projecto ERAMAC, contrato 03/MAC/4.3/C3. AREAM, 55 pp.
- › Miranda, P., M. Valente, e P. Ferreira (2003). *Simulação numérica do escoamento atmosférico sobre a ilha da Madeira - efeitos não lineares e de estratificação no estabelecimento do potencial eólico na zona do Paul da Serra*. Centro de Física da Universidade de Lisboa.
- › Pacto das Ilhas (2011). *Carta de compromisso de adesão ao Pacto das Ilhas*, Bruxelas, 12 abril 2011, Governo Regional da RAM. Ver também <http://www.islepact.eu>
- › Pacto dos Autarcas (2015). *Pacto dos Autarcas - Energia Sustentável nos Municípios*. Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional, Programa Intervir+, Programa Operacional de Valorização do Potencial Económico e Coesão Territorial da RAM (contrato nº MADFDR-02-0265-FEDER-000010), Municípios de Santa Cruz, Machico, Santana, São Vicente, Porto Moniz, Calheta, Ponta do Sol, Ribeira Brava, Câmara de Lobos e Porto Santo. Informação acessível em <http://www.aream.pt>, cf. também http://www.pactodeautarcas.eu/actions/sustainable-energy-action-plans_pt.html
- › PAESI Madeira (2012). *Plano de Acção para a Energia Sustentável da Ilha da Madeira*. Resolução 244/2012 do Conselho do Governo da Região Autónoma da Madeira. AREAM, 58 pp.
- › PAESI Porto Santo (2012). *Plano de Acção para a Energia Sustentável da Ilha de Porto Santo*. Resolução 244/2012 do Conselho do Governo da Região Autónoma da Madeira. AREAM, 54 pp.
- › e.g. no PAES Funchal (2012). *Plano de Acção para a Energia Sustentável - Município do Funchal*. Pacto dos Autarcas - Energia Sustentável nos Municípios, C.M. Funchal. 40 pp. Acessível em http://www1.cm-funchal.pt/ambiente/images/stories/eficiencia_energetica/documentos/PAES_Funchal.pdf
- › e.g. no PAES Funchal (2015). *Primeiro Relatório de Implementação do e.g. no PAES Funchal*. Pacto dos Autarcas - Energia Sustentável nos Municípios, C.M. Funchal. 40 pp. Acessível em http://www1.cm-funchal.pt/ambiente/images/stories/eficiencia_energetica/documentos/1_Rel_Impl_PAES-Final_Aprovado.pdf
- › PAUER (2007). *Estudio de la radiación solar*. M. V. Vázquez, Ed. Projecto PAUER, cofinanciamento POPRAM-III-FEDER. Laboratório de Energía Solar de la Universidade de Vigo para LREC. 43 pp.
- › Peças Lopes, J., Pereira da Silva, J. L., L. Seca, N. Gil, N. Fonseca e P. Brown (2009). *Determinação da Capacidade de Integração de Energias Renováveis nas Ilhas da Madeira e do Porto Santo*. 123 pp. INESC-P - Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores do Porto.

- › Pereira, J. Carlos, A. Rita Ervilha e J. Chaves Pereira (2005 a). *Avaliação do Potencial Energético Solar na RAM*. Projecto ERAMAC, Contrato nº MAC/4.3/C1 com a Direcção Regional do Comércio, Indústria e Energia da RAM, co-financiado pelos Programas UE INTERREG IIIB AMC e FEDER. LASEF para AREAM, 27 pp.
- › Pereira da Silva, J. L., J.T. Saraiva, A. Mendonça e R. Ferreira (2005). *Análise dos Cenários de Expansão da Rede de Transporte da Ilha da Madeira 2008-2015*. 37 pp. INESC-P - Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores do Porto.
- › Pereira da Silva, J. L., J.T. Saraiva e N. Fonseca (2005). *Análise da Garantia de Potência do Sistema Electroprodutor da Ilha da Madeira 2006-2010*. 31 pp. INESC-P - Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores do Porto.
- › Pereira da Silva, J. L., J.T. Saraiva e M.H. Vasconcelos (2009). *Análise dos Planos de Expansão das Redes de Transporte das Ilhas da Madeira e do Porto Santo 2010 – 2015*. Trabalho de consultoria desenvolvido para a EEM. INESC-P - Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores do Porto.
- › Pereira, J. Carlos, A. Rita Ervilha, R. Reis, J. Chaves Pereira e R. Howard (2005 b). *Avaliação do Potencial Energético Eólico na RAM*. Projecto ERAMAC, Contrato nº MAC/4.3/C1 com a Direcção Regional do Comércio, Indústria e Energia da RAM, co-financiado pelos Programas UE INTERREG IIIB AMC e FEDER. LASEF para AREAM, 77 pp.
- › PIDT&I (2012). *Plano de Acção para a Investigação, Desenvolvimento Tecnológico e Inovação na RAM*. Política de Coesão da UE, 2014-2020 – Instrumentos de planeamento e programação da RAM. 67 pp. http://pidti.arditi.pt/?page_id=5
- › PIDT&I EMAC (2012). *Relatório preliminar da área da Energia, Mobilidade e Alterações Climáticas - Plano de Acção para a Investigação, Desenvolvimento Tecnológico e Inovação na RAM.*, versão 26/11/2012. 17 pp. http://pidti.arditi.pt/?page_id=18
- › PPERAM (2000). *Plano de Política Energética da Região Autónoma da Madeira - Ano de referência 2000*. Vice-Presidência do Governo Regional da Madeira, AREAM, Setembro 2002.
- › Prada, S., J. André Reis, V. Barreto, R. Carvalho e P. Freitas (2015). *Recursos Hidricos*. Relatório do Projecto Clima-Madeira, CCIAM, Lisboa (Eds.), 50 pp.
- › PRE (2015). *Plano Regional de Emprego, 2012-2020*. Secretaria Regional dos Assuntos Sociais da RAM, e Instituto de Emprego da Madeira. 72 pp.
- › PREMAR (2015). *Plano Referencial Estratégico Mar Madeira 2030*. Estratégia Mar Madeira 2030. Relatório Final. IESE e ACIF/Câmara de Comércio e Indústria da Madeira. Programa Intervir+, QREN.

- › PPEC (2014). *Plano de Promoção da Eficiência no Consumo*, EEM. Informação sobre Projectos PPEC bianuais acessível em <http://www.eem.pt>
- › Pinto, T., J. Lousada, G. Louro, H. Machado e L. Nunes (2013). *Recolha de Biomassa Florestal: Avaliação dos Custos e Tempos de Trabalho*. *Silva Lusitana*, nº Especial, pp. 163 - 176, 2013, UEISSAFSV, INIAV, Oeiras.
- › Rosa, F. e A. Vieira (2006). *Avaliação do Potencial Energético da Biomassa na RAM*. Projecto ERAMAC, Contrato nº MAC/4.3/C1 com a Direcção Regional do Comércio, Indústria e Energia da RAM, co-financiado pelos Programas UE INTERREG IIIB AMC e FEDER. INETI para AREAM, 87 pp. SCE (2013a). Decreto-Lei nº 118/2013, Diário da República de 20 de agosto de 2013. *Sistema de Certificação Energética dos Edifícios*. Ministério da Economia e do Emprego.
- › SCE (2013b). Despacho (extrato) nº 15793-F/2013: *Procede à publicação dos parâmetros para o zonamento climático e respetivos dados*. 3º suplemento do Diário da República de 3 de dezembro de 2013.
- › TRES (2015). Projecto *Transição para um Modelo Energético Sustentável*. Programa de Cooperação Transnacional 2007-2013 para a Madeira, Açores e Canárias (PCT-MAC). Informação acessível em <http://www.arem.pt>
- › Valor Ambiente (2010). *Relatório e Contas 2009 da Valor Ambiente – Gestão e Administração de Resíduos da Madeira, S.A.* 31 pp. Funchal.
- › Valor Ambiente (2011). *Relatório e Contas 2010 da Valor Ambiente – Gestão e Administração de Resíduos da Madeira, S.A.* 27 pp. Funchal.
- › Valor Ambiente (2012). *Relatório e Contas 2011 da Valor Ambiente – Gestão e Administração de Resíduos da Madeira, S.A.* 28 pp. Funchal.
- › Valor Ambiente (2013). *Relatório e Contas 2012 da Valor Ambiente – Gestão e Administração de Resíduos da Madeira, S.A.* 44 pp. Funchal.
- › Valor Ambiente (2014). *Relatório e Contas 2013 da Valor Ambiente – Gestão e Administração de Resíduos da Madeira, S.A.* 49 pp. Funchal.
- › Vázquez, M., P. Belmonte, J. Navarro, M. Cerqueira e C. Magro (2008). *Atlas de Radiação Solar do Arquipélago da Madeira*. LREC. ISBN 978-989-96043-0-8. 32 pp.

6. Informação Extra

Acrónimos

ADENE	Agência para a Energia
AIE	Atlantic Islands Electricity
AREAM	Agência Regional de Energia e Ambiente da Madeira
CEEApIA	Centro de Estudos de Economia Aplicada do Atlântico
DREM	Direcção Regional de Estatística da Madeira
DROTA	Direcção Regional de Ordenamento do Território e Ambiente
EEM	Empresa de Electricidade da Madeira
GEE	Gases com Efeito de Estufa (CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O e outros)
IDR	Instituto de Desenvolvimento Regional
IDE-RAM	Instituto de Desenvolvimento Empresarial da RAM
INE	Instituto Nacional de Estatística
IPMA	Instituto Português do Mar e da Atmosfera
LREC	Laboratório Regional de Engenharia Civil
PAES	Plano de Acção para a Energia Sustentável (Pacto dos Autarcas)
PAESI	Plano de Acção para a Energia Sustentável (Pacto das Ilhas)
RAM	Região Autónoma da Madeira
SCE	Sistema Nacional de Certificação Energética de Edifícios
ZIF	Zona Franca Industrial

Cadeias de Impactos

Setas: a cheio, dependências cruciais; a tracejado, dependências de segunda ordem, ocasionais ou incertas.

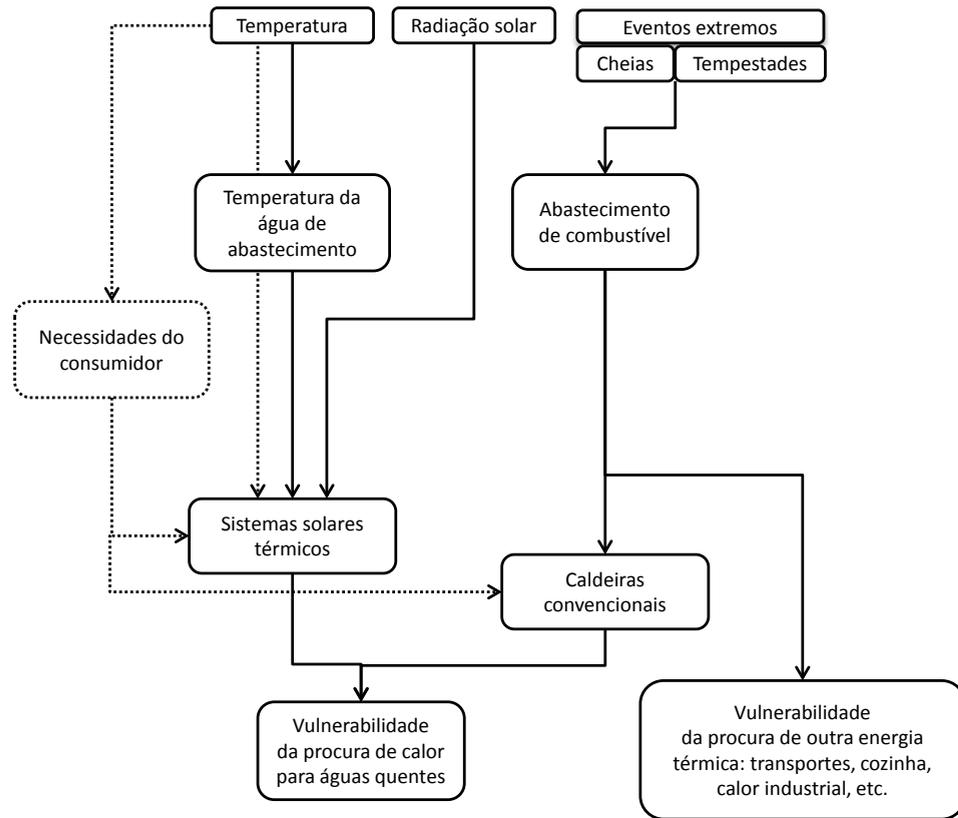


Figura 1 – Cadeia de impactos na procura de energia térmica em geral.

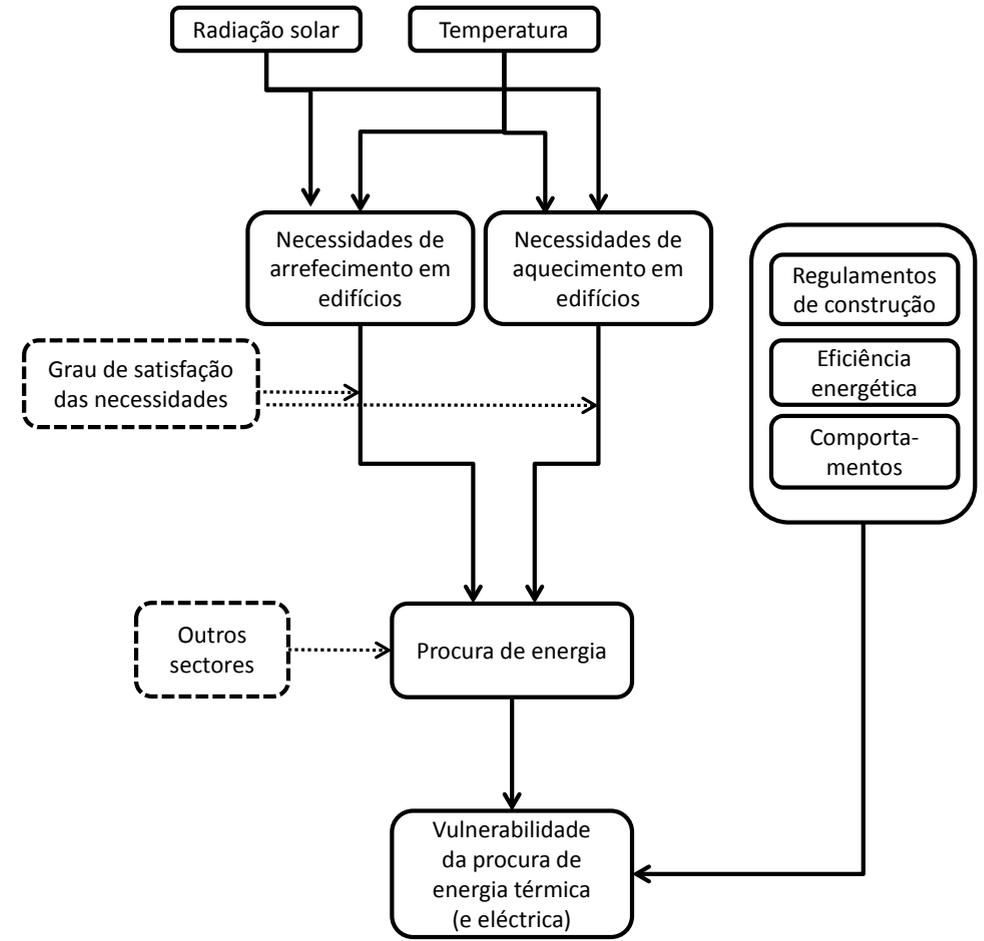


Figura 2 – Cadeia de impactos na procura de energia em edifícios.

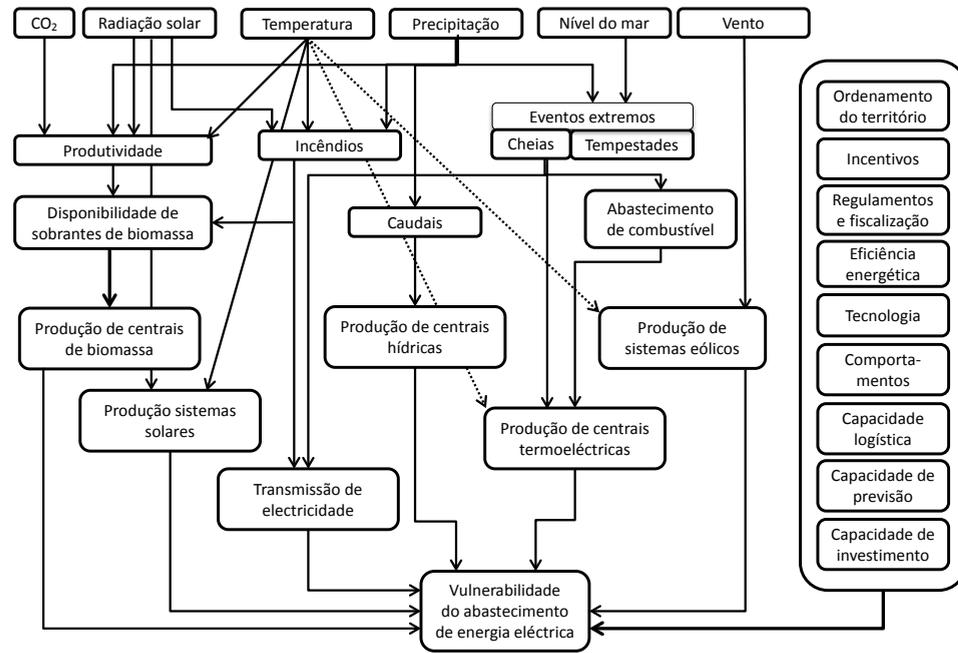


Figura 3 – Cadeia de impactos na oferta de energia a eléctrica.

Escala de Vulnerabilidade

Tabela 1 – Escala de vulnerabilidade.

2	Muito Positiva
1	Positiva
0	Neutra
-1	Negativa
-2	Muito Negativa
-3	Crítica

Nota: foram consideradas na zona neutra toda as estimativas de vulnerabilidade entre +1% e -1%, relativamente à dimensão, conforme adequado, da oferta ou da procura de energia para o sistema examinado.

Comportamento da procura de energia eléctrica e da temperatura

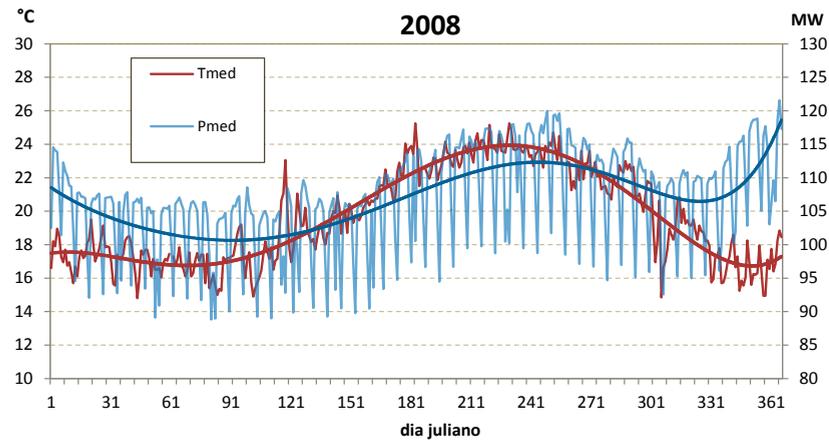


Figura 4 – Exemplo típico de séries diárias de temperatura média diária (Tmed) e potência média diária aparente (Pmed) demonstrando a falta de correlação tanto a nível de dias individuais como de tendências sazonais*.

(*) Este resultado foi confirmado através do cálculo de correlações, retirando a componente sazonal anual média ou por troços (estações do ano), para cada dia da semana, obtendo-se sempre correlações muito baixas.

