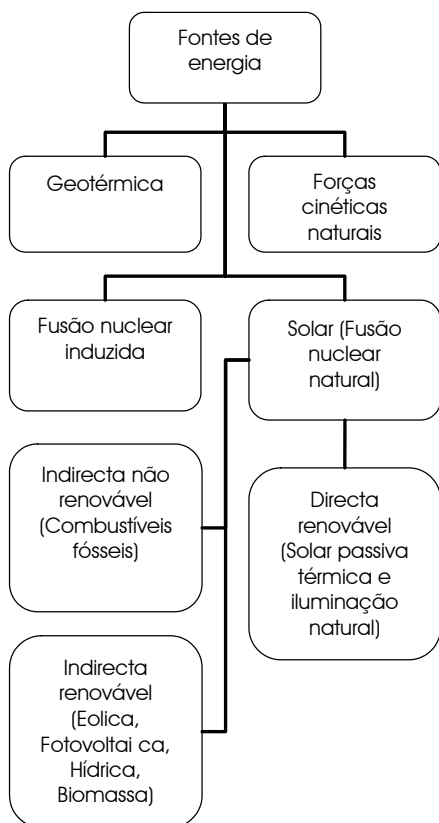


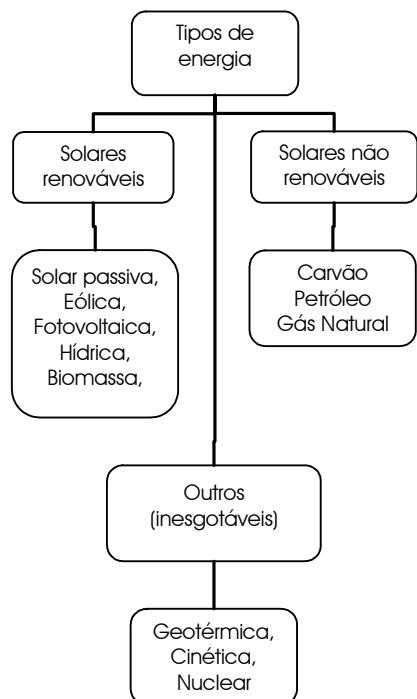
## **JUSTIFICAÇÃO**

Neste capítulo pretende-se dar uma perspectiva ambiental das actividades humanas em geral e das actividades ligadas à construção residencial em particular, com vista a enquadrar a pertinência deste trabalho. É feita uma breve caracterização das fontes de energia disponíveis e da satisfação das necessidades energéticas ao longo da história, com especial incidência nas mudanças ocorridas nos últimos dois séculos. As consequências ambientais negativas decorrentes da exploração intensiva dos recursos naturais e da utilização de combustíveis fósseis, comprometem mesmo o futuro da humanidade, pelo que todas as contribuições para a redução ou reconversão dos consumos energéticos são pertinentes. Desta forma, discriminam-se todos os aspectos ligados aos impactes ambientais dos edifícios que possam ser passíveis de redução, não apenas os inerentes à sua utilização, mas também os associados às fases anteriores à construção e mesmo ao fabrico dos materiais e extracção de matérias-primas, para que seja possível intervir atempadamente, ainda a nível de projecto. Espera-se que o desenvolvimento do trabalho incida em aspectos que se revelem pertinentes e enquadrados numa perspectiva global, não apenas da realidade energética das habitações portuguesas actuais, mas estabelecendo princípios que se possam enquadrar noutros países de clima temperado.

## 2.1. O passado, presente e futuro da Energia



**Figura 2.1.1.** Representação esquemática das diversas fontes de energia disponíveis



**Figura 2.1.2.** Representação esquemática dos tipos de energia disponíveis

As fontes de energia disponíveis, como se pode ver na Figura 2.1.1 são, basicamente: geotérmica, forças cinéticas naturais, fusão nuclear induzida e solar (directa e indirecta) - onde se podem igualmente incluir os combustíveis fósseis, como um caso especial de energia solar indirecta.

A energia solar directa (radiação) pode ser utilizada duma forma não transformada, por exemplo para aquecimento e iluminação, sendo este o maior recurso energético disponível passível de ser utilizado imediatamente. O problema é que a sua utilização está dependente dos condicionalismos naturais, por exemplo não permite a iluminação ou o aquecimento durante a noite. Por esta razão o homem passou a utilizar, há vários milhares de anos, energia indirecta, para cobrir essas necessidades complementares, nomeadamente energia obtida através da queima de madeira para se aquecer e para iluminação durante a noite.

A principal vantagem da utilização "transformada" da energia reside no facto do uso poder ser feito em tempo e local distinto do da sua obtenção, através do armazenamento em forma potencial e/ou transporte, dando assim uma maior independência relativamente às condições naturais.

A energia nuclear pode também ser considerada uma fonte de energia transformada inesgotável, no entanto os riscos associados à sua exploração, colocam grandes reservas quanto à sua utilização.

A classificação dos tipos de energia é relativamente difícil, já que em alguns casos existem combinações de diversos tipos. Por exemplo no aproveitamento da energia hídrica em barragens o ciclo da água dos rios compreende: evaporação (radiação solar), transporte pelo vento das nuvens (eólica), condensação em chuva e gravidade na descida do curso de água (cinética).

Uma classificação comum dos tipos de energia divide-os em: renováveis e não renováveis. Para esta classificação, que se esquematiza na Figura 2.1.2, tem de se entender a energia solar como fonte primária em quase todas as outras formas de energia. A energia eólica, a biomassa (madeira ou álcool) e a energia hídrica (das marés e cursos de água) são tudo formas indirectas de energia solar e são consideradas renováveis porque estão continuamente disponíveis, ou pelo menos renovam-se em ciclos relativamente regulares e curtos e por isso nunca se esgotam definitivamente, se forem geridos os recursos (por exemplo no caso da biomassa).

O carvão, o petróleo e o gás natural são também formas indirectas de energia solar, mas neste caso não são renováveis, pelo que as reservas esgotadas não são passíveis de reposição, já que o seu ciclo de renovação é de centenas de milhões de anos. O rendimento específico é muito elevado, pelo que o custo de obtenção de energia a partir destas fontes é relativamente baixo.

Por essa razão, a sua utilização como fonte energética continua ainda tão difícil de limitar e substituir.

### 2.1.1. Evolução histórica da energia

Historicamente, os tipos de energia dominantes têm-se alterado. Inicialmente, o homem dependia exclusivamente de energias renováveis: o Sol, directamente para iluminação e aquecimento; a lenha, para aquecimento e também para cozinhar. Esta última permitia já autonomia energética sobre a natureza, podendo eventualmente armazenar energia potencial.

Técnicas mais elaboradas trouxeram o aproveitamento da energia eólica para o transporte - no caso das embarcações, para a bombagem de água ou para a moagem dos cereais. Para esta última função também era utilizada a energia hídrica. Os primeiros moinhos de água, com roda horizontal ou vertical, remontam a cerca de 100a.C. (Mazoyer 1997). Os romanos construíram algumas instalações de moagem hídricas, mas foi durante a Idade Média que estas conheceram uma maior implementação.

Os moinhos de vento datam do século VII d.C., sendo os de eixo vertical de origem persa, mas foram aperfeiçoados no Ocidente, durante o século XII, com a afinação do velame orientável e a introdução do eixo horizontal. Na Figura 2.1.3 pode ver-se o exemplo de um moinho de vento de eixo horizontal, tipo torre, que inicialmente surgiu na zona mediterrânea Europeia e que posteriormente foi mais desenvolvido e teve uma grande implementação, nomeadamente nos Países Baixos, tendo continuado muitos deles em actividade até aos nossos dias.

Até ao século XIX, as energias renováveis desempenhavam um papel fundamental nas economias agrárias, pelo que mesmo em termos de energia combustível, a madeira era suficiente para a satisfação da maior parte das necessidades energéticas. Com a revolução industrial, o carvão passou a ser a fonte de energia transformada dominante, o que marcou o início da era das energias não renováveis. Em 1950 já o petróleo e o gás natural eram as fontes de energia transformadas predominantes.

Em 1990 obtinha-se do petróleo 38,6% da energia comercial a nível mundial, ainda que uns anos antes, em 1974, chegou a representar 47,4%, antes da crise levantada pela OPEP. Nesse mesmo ano, a proporção de energia comercial obtida a partir do gás natural foi de 21,6% e desde a crise do petróleo de 1973 tem aumentado ligeiramente (Echarri 2002). O consumo mundial de petróleo foi crescendo até alcançar um máximo em 1978, ano em que se exploraram algo mais de 3.000 milhões de toneladas. Depois, o consumo diminuiu até ao ano de 1982 e, desde então, tem aumentado ligeiramente, mas ainda sem atingir os valores de 1978.

A descida de 1978 a 1982 deveu-se essencialmente à diminuição do consumo nos países desenvolvidos. Nos EUA, o consumo por

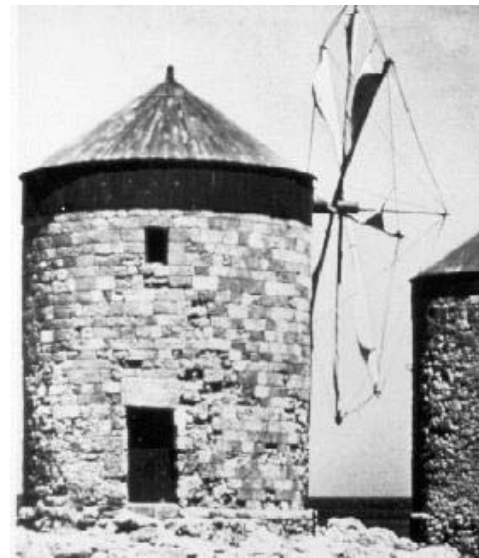


Figura 2.1.3. Moinho de vento mediterrânico (Telosnet 2002)

habitante e ano era de 4 toneladas em 1978, sendo nessa data o mais elevado do mundo. Em 1993, foi reduzido para 3 toneladas, continuando no entanto a ser o mais elevado. O consumo médio dos restantes países desenvolvidos é de 1,4 toneladas por habitante e ano, enquanto que nos países não desenvolvidos o consumo é inferior a 0,5 toneladas, ainda que o consumo total destes países, por motivos demográficos e de desenvolvimento esteja em crescimento contínuo. O consumo médio no mundo, por habitante e ano era, em 1993, de 0,6 toneladas.

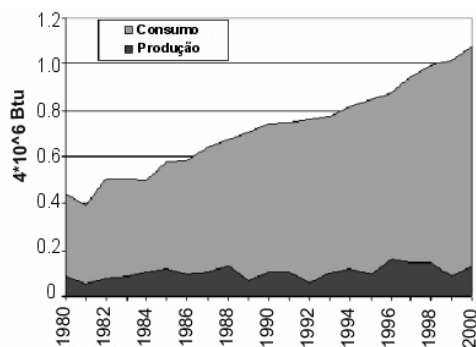
Segundo estimativas de 2000, as reservas de petróleo da OPEP darão para cobrir a procura deste produto durante os próximos 77 anos (Oil and Gás Journal 2000). As reservas de carvão ainda durariam para 1000 anos, mas com os problemas associados às chuvas ácidas e às emissões de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), os ambientalistas prevêem uma rápida e violenta crise ambiental se utilizarmos carvão como fonte energética alternativa ao petróleo (Berge 1999).

A sustentabilidade é cada vez mais um tema na ordem do dia, mas apesar disto, a efectiva implementação de medidas que visem o desenvolvimento sustentável é ainda complexa, já que muitas vezes entra em conflito com o desenvolvimento económico e tecnológico e, principalmente, com a necessidade de convergência entre os países desenvolvidos e não desenvolvidos. Esta convergência passa inevitavelmente, no seu cerne, pela questão energética, nomeadamente aliada aos custos de obtenção das chamadas “energias limpas” e da implementação de estratégias de redução do impacto ambiental.

O relatório Brundtland, apresentado à ONU em 1987, definia o desenvolvimento sustentável como: “o progresso que pode satisfazer as necessidades do presente, sem comprometer a capacidade das gerações futuras em satisfazer as suas próprias necessidades” (Brundtland 1987).

Em diferentes cimeiras mundiais já se propuseram iniciativas sobre este tema. No ano 1992, a cimeira do Rio de Janeiro propôs, entre outras acções, a adopção das agendas 21 como medidas a implementar a nível local, estatal e internacional para promover a sustentabilidade. Os aspectos ligados à sustentabilidade da construção foram reunidos no relatório 237 “Agenda 21 on Sustainable Construction” (CIB 1999). Mais recentemente, na cimeira de Quioto, fixavam-se os objectivos de redução das emissões de  $\text{CO}_2$  equivalente e as linhas de acção a desenvolver neste sentido.

O aquecimento global tem a ver directamente com a energia produzida, já que esta é obtida essencialmente a partir de combustíveis fósseis. Ao ter como objectivo primordial a redução das emissões de  $\text{CO}_2$  equivalente, o desenvolvimento sustentável passa pela redução dos consumos energéticos, nomeadamente nos obtidos pela queima dos combustíveis derivados do petróleo e do gás natural. Esta redução começa por evitar todos os gastos energéticos desnecessários, bem como pela substituição das fontes energéticas poluentes por fontes de energia renováveis não



**Figura 2.1.4.** Produção e Consumo de Energia totais em Portugal de 1980 a 2000 (EIA 2003)

poluentes. É com base nesta última opção que as estratégias solares passivas se enquadram. Estas não são no entanto aplicáveis em todas as situações, pelo menos nas actuais condições tecnológicas. Por exemplo para o fabrico de alguns materiais de construção, o recurso exclusivo a fontes de energia não poluentes ainda é actualmente inviável. Tal é o caso do fabrico do vidro, do aço, do tijolo ou do cimento, processos que têm um consumo energético intensivo.

Com os problemas inerentes à exploração da energia nuclear, parece que a alternativa mais prudente é procurar otimizar o recurso às energias renováveis não poluentes sempre que possível, nomeadamente a energia solar que, para uma grande parte das necessidades energéticas actuais, constituem fontes inesgotáveis, válidas e inócuas. Para os materiais em que o consumo energético é intensivo, resta minimizar o seu uso, otimizando-o ou recorrendo à reutilização e reciclagem e permitindo dessa forma que a produção, por ser menor, possa ser feita exclusivamente com recurso a energia de fontes renováveis.

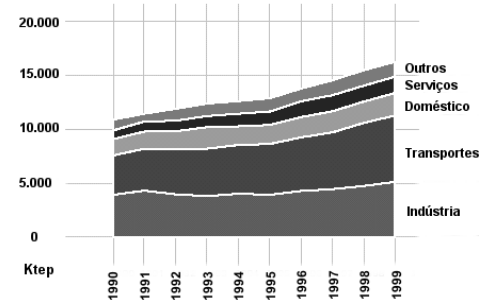


Figura 2.1.5. Consumo de energia final por sector consumidor em Portugal (DGE 2002)

### 2.1.2. Caracterização da produção energética em Portugal

Nas últimas duas décadas e, em particular, após a entrada de Portugal na União Europeia (UE), a procura de energia nacional tem aumentado, mas a produção tem-se mantido praticamente constante, como se pode ver na Figura 2.1.4.

"Portugal foi o país da União Europeia com taxas de crescimento da procura de energia final mais significativas neste período. Na década de noventa, a procura de energia final em Portugal cresceu a uma taxa sustentada de cerca de 4,5% ao ano, de que resultou um crescimento da procura de energia final de 50% entre 1990 e 1999. Para o conjunto dos 15 Estados-membros da União Europeia, a taxa média de crescimento da procura de energia final foi, entre 1990 e 1998, da ordem de 1% ao ano" (DGE 2002)

Uma análise por sector consumidor revela que todos os sectores de actividade tiveram forte crescimento da procura de energia entre 1990 e 1999, como se pode ver na Figura 2.1.5. Destacam-se os sectores dos transportes e dos serviços, que aumentaram em mais de 68 e 85%, respectivamente.

Como consequência desta evolução, a estrutura do consumo de energia final alterou-se significativamente durante a década de noventa. O sector dos transportes tornou-se o maior consumidor tendo, a par do sector dos serviços, aumentado o seu peso relativo no consumo de energia final em 1999, como se pode ver na Figura 2.1.6.

Na UE, durante o mesmo período, o sector dos transportes registou igualmente forte crescimento do consumo de energia, enquanto a tendência geral foi para a estabilização, ou mesmo redução de consumos no sector industrial e para aumentos moderados nos sectores residencial e serviços.

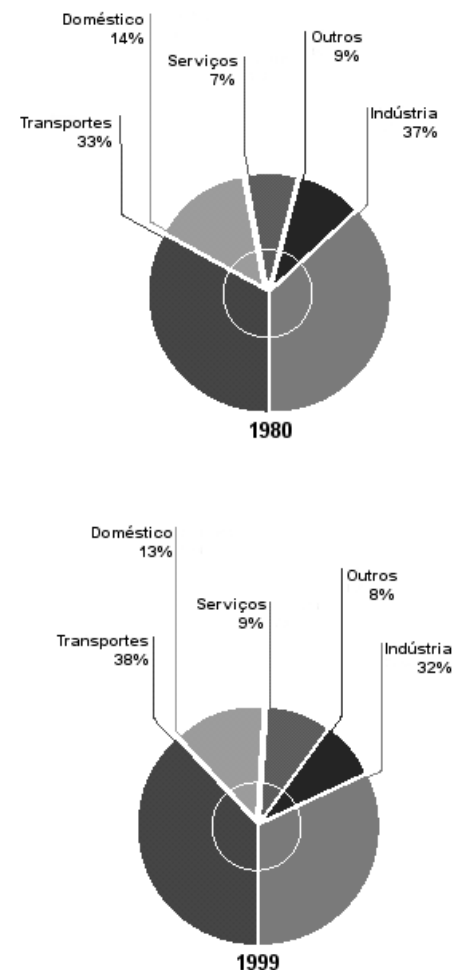
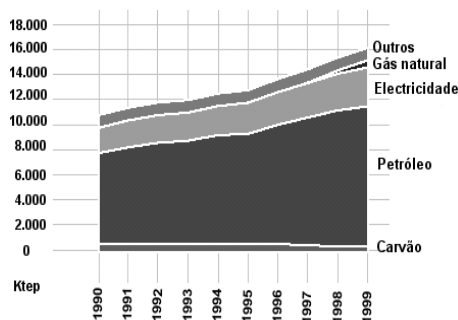


Figura 2.1.6. Evolução percentual, por sectores consumidores, de energia primária em Portugal (DGE 2002)

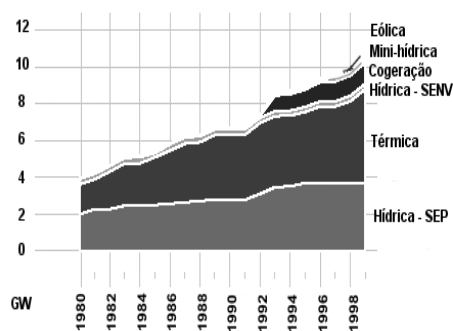


**Figura 2.1.7.** Consumo de Energia final por forma de energia em Portugal de 1990 a 1999 (DGE 2002)

Pelo grande peso que a indústria da construção, a par da indústria alimentar tem no volume de transportes, pode concluir-se que, uma estratégia que assente na redução dos volumes e peso de materiais, vai significar uma redução significativa no consumo de energias poluentes. Como se pode ver na Figura 2.1.7, uma análise sobre a procura energética revela o domínio dos produtos de petróleo no perfil da procura de energia final, cujo contributo se aproximou dos 70%, durante toda a década de 90. Os produtos derivados de petróleo, usados como energia final, são essencialmente os combustíveis, utilizados em todos os meios de transporte de mercadorias. A procura de energia eléctrica aumentou 64% entre 1990 e 2000, correspondendo a uma taxa média de crescimento da ordem dos 5% ao ano. Como esta taxa de crescimento é ligeiramente superior à taxa de crescimento global da procura, a energia eléctrica tem vindo a aumentar o seu peso relativo, tendo atingido mais de 20% do consumo de energia final em 2000. A rubrica "outros", que em 98 representou quase 7% do consumo de energia final, refere-se sobretudo ao consumo de lenhas e resíduos, que em Portugal têm um peso significativo nos sectores doméstico e industrial (DGE 2002).

### 2.1.3. As energias renováveis em Portugal e na União Europeia

Na potência de produção instalada, Portugal depende essencialmente de centrais térmicas, constituindo a hídrica o segundo maior contributo e tendo os outros tipos, nomeadamente eólica, uma influência muito pouco significativa, como se pode ver na Figura 2.1.8. No entanto será de destacar o facto de, pelas características geográficas e clima ameno Portugal ser um país de grandes recursos em vários tipos de energias renováveis.



**Figura 2.1.8.** Potência instalada por tipo de energia em Portugal de 1990 a 1998 (ERSE 2003)

Na década de noventa, Portugal importou mais de 80% da energia primária que consumiu, tendo sido o segundo país da União Europeia com maior dependência energética externa, a seguir ao Luxemburgo, que depende do exterior em quase 100% (DGE 2002). O forte crescimento do consumo de energia primária, num contexto de população estabilizada, como o que se verifica em Portugal, levou a que o consumo *per-capita* de energia aumentasse mais de 34% entre 1990 e 1998. Foi o maior crescimento deste indicador em toda a União Europeia (UE). No entanto, Portugal permanece o país da UE com menor consumo de energia por habitante. Isto não acontece por Portugal ser um país particularmente eficiente na exploração dos recursos energéticos e também não só por razões positivas ligadas ao clima mas, sobretudo, porque Portugal não atingiu ainda as condições de conforto e de posse de equipamentos típicos dos países mais desenvolvidos (DGE 2002). No actual cenário de crescente procura de energia e mesmo que a produção das centrais hidroeléctricas de grande dimensão esteja maximizada, Portugal terá de construir mais centrais térmicas, aumentar as importações ou incrementar a produção a partir de fontes renováveis como a eólica, a solar térmica, a fotovoltaica, a co-geração e as mini-hídricas. Em 2002, o governo Português propôs-se aumentar, em 40%, a produção eléctrica a partir de fontes renováveis durante o período 2002-2010.

Em 2000 a produção a partir destas fontes foi de 1.8BkW/h, excluindo a produção de energia hidroeléctrica.

Seria no entanto do maior interesse que o aumento da procura energética não se chegue a verificar, já que se assiste nos países Europeus mais desenvolvidos a uma tendência para a inversão, ou pelo menos para a estagnação nos consumos de energia, assentando a preocupação mais na optimização dos recursos existentes.

Como já foi referido, em Portugal não se regista actualmente exploração de qualquer produto energético com origem fóssil. Os recursos fósseis conhecidos são constituídos por carvão de baixa qualidade e não competitivo com o carvão importado. Desta forma, todos os produtos energéticos de origem nacional no ano 2000 assentaram em fontes renováveis. A grande parte da contribuição nacional para produção eléctrica surge nas rubricas "hídrica" e "renováveis", na Figura 2.1.9. A primeira refere-se fundamentalmente à produção hidroeléctrica nacional, que tem variações muito pronunciadas de ano para ano, uma vez que a produção depende das afluências hidrológicas. No período de 1980 a 2000, esse contributo variou entre menos de 3% do consumo de energia primária, em 1999, até cerca de 7,7% em 1996, ano particularmente chuvoso.

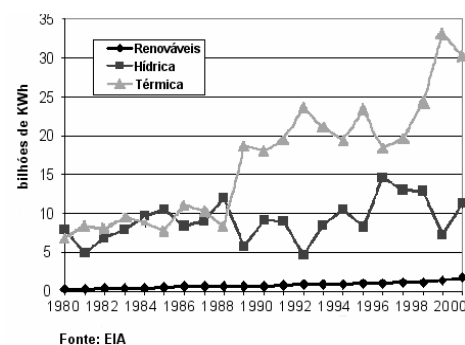
O aproveitamento da energia solar passiva pode resultar de estratégias muito mais simples do que as necessárias para a obtenção de energia eléctrica por sistemas não poluentes, nomeadamente: reduzir os consumos na utilização dos edifícios, em termos de iluminação artificial e climatização, pela máxima utilização das energias renováveis, potenciando o aquecimento solar passivo e a iluminação natural. Isto, para além do aproveitamento da própria circulação do ar como instrumento de ventilação e da própria temperatura do ar exterior ou a inércia do terreno para arrefecimento durante a noite;

A energia solar passiva supera na UE o equivalente a 96MTep da energia primária utilizada ao longo do ano, o que representa 9% da energia total (N. EUR-13094). A maior parte do carvão e lenha (combustíveis sólidos) utiliza-se para aquecimento, o que supõe 6% do total. No sector de edifícios a energia solar passiva supera 13% do total. Como se pode ver nas Tabelas 2.1.1 e 2.1.2, o aproveitamento da energia solar constitui uma parcela importante das utilizações de energia nos países da Europa.

**Tabela 2.1.1.** Utilização de combustível na UE em 1990 em % (inclui usos industriais e transportes)

Combustíveis	Utilização de energia (em %)
Petróleo (para produzir electricidade)	37
Petróleo (uso directo)	33
Gás (uso directo)	15
Energia solar (Equiv. a Combust.)	9
Combustíveis sólidos (uso directo)	6

Fonte: (UN. EUR-13094)



**Figura 2.1.9.** Produção eléctrica em Portugal de 1980 a 2000 (EIA 2003)

**Tabela 2.1.2.** Utilização de Energia no sector residencial e escritórios na UE em 1990 excluindo usos industriais e transportes (em %)

Combustíveis	Utilização de energia (em %)
Petróleo (uso directo)	20
Petróleo (para produzir electricidade)	43
Gás (uso directo)	18
Energia Solar (Equiv. a Combust.)	13
Combustíveis sólidos (uso directo)	6

Fonte: (UN. EUR-13094)

Se não se tomam medidas para incrementar o emprego da energia solar passiva no futuro prevê-se que o valor possa vir a ser menor que os 9% de 1990, ainda que esta redução possa igualmente ser motivada pelo facto das necessidades de aquecimento serem menores, como resultado de que geralmente estão a ser construídos edifícios com melhor isolamento térmico.

Potenciar o desenho solar passivo em todos os edifícios da UE poderá conduzir a que a percentagem possa aumentar até chegar a 54% no ano de 2010, o que representa um valor de 52MTep (UN-EUR-13094). Esta contribuição dependerá do esforço que cada país fizer para utilizar e exigir a optimização solar passiva nos seus edifícios, missão que é da responsabilidade de todos, desde as Administrações Públicas, aos profissionais relacionados com a arquitectura e a engenharia, até ao utilizador desses edifícios. Nesse estudo da UE faz-se também uma classificação da utilização da energia solar nos edifícios por países membros da UE, e pode-se ver que Portugal ocupava o oitavo lugar no emprego da energia solar nos edifícios, considerando as aplicações de aquecimento, refrigeração e iluminação naturais. As percentagens por países mostram-se na Tabela 2.1.3. Nesta separação por países é importante referir que os países do Norte da Europa: Dinamarca, Irlanda e Holanda, não têm nenhuma procura de energia para refrigeração nos edifícios enquanto que, pelo contrário; a Grécia, Portugal, Itália e Espanha, gastam cerca de 50% para refrigeração.

Os valores específicos para Portugal, nomeadamente da Produção de energia eléctrica a partir de fontes renováveis, do balanço energético de energias renováveis e da potência instalada a partir de fontes renováveis, apresentam-se nas Tabelas 2.1.4 a 2.1.6.

**Tabela 2.1.3.** Utilização da energia solar na UE em 1990 e por países membros (em %)

Países	Utilização de energia solar (%)
Alemanha	25
Itália	18
França	16
Reino Unido	13
Espanha	12
Bélgica	4
Holanda	3
Portugal	3
Grécia	2
Dinamarca	1
Irlanda	1
Luxemburgo	0,3

Fonte: (UN. EUR-13094)



**Tabela 2.1.4.** Produção de energia eléctrica a partir de fontes renováveis em Portugal [GWh]

Tipo de energia	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Hídrica	7962	14207	12537	12448	7042	11040
Mini-hídrica	492	658	638	566	589	675
Biomassa	988	959	1036	1022	1237	1551
Eólica	16	21	38	89	122	168
Geotérmica	42	49	51	58	80	80
Fotovoltaica	0,6	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
<b>Total renováveis</b>	<b>9501</b>	<b>15895</b>	<b>14301</b>	<b>14223</b>	<b>9071</b>	<b>13515</b>
<b>Energia eléctrica total</b>	<b>33263</b>	<b>34519</b>	<b>34206</b>	<b>38983</b>	<b>43268</b>	<b>43763</b>

Fonte: (DGE 2002)

**Tabela 2.1.5.** Balanço energético de energias renováveis em Portugal

Balanço energético - 10 <sup>3</sup> tep	1998	1999	2000
Fotovoltaica - energia eléctrica	0,1	0,1	0,1
Geotérmica - baixa entalpia - energia térmica	1,0	1,0	1
Solar - energia térmica	16,8	17,3	17,8
Biomassa - energia térmica	1130	1166	1185
Resíduos industriais/lixos - energia eléctrica	854	895	1071,9
Biogás - energia eléctrica/térmica	2,5	3,1	3,3
Eólica - energia eléctrica	7,7	10,5	14,4

Fonte: (DGE 2002)

**Tabela 2.1.6.** Potência instalada a partir de fontes renováveis em Portugal [MW]

Tipo de energia	1996	1997	1998	1999	2000
Hídrica	4036	4130	4051	4035	4036
Mini-hídrica	248	245	247	257	467
Biomassa	345	351	351	441	441
Eólica	18,4	29,2	53	57	83
Geotérmica	8,8	8,8	18	18	18
Fotovoltaica	0,43	0,53	0,65	0,89	1,02
<b>Total renováveis</b>	<b>4657</b>	<b>4764</b>	<b>4721</b>	<b>4809</b>	<b>4846</b>
<b>Energia eléctrica total</b>	<b>9810</b>	<b>9965</b>	<b>10211</b>	<b>11166</b>	<b>11279</b>

Fonte: (DGE 2002)

Em relação à produção de energia eléctrica através de fontes renováveis, existem já muitas tecnologias disponíveis, algumas em desenvolvimento e outras ainda por explorar. Das energias já em exploração cabe destacar as seguintes (Martins 2001):

- Eólica: a produção de energia eólica encontra-se em crescimento, devido à diminuição dos custos dos aerogeradores e ao aumento da potência unitária;
- Solar termoeléctrica e fotovoltaica: a energia solar termoeléctrica teve um elevado desenvolvimento a partir de 1980 devido à crise petrolífera, mas com a evolução do mercado petrolífero assim como pela má qualidade dos sistemas e componentes instalados, este tipo de energia assistiu a um abrandamento. Os sistemas fotovoltaicos têm-se mostrado mais fiáveis e com maior aceitação. Existem já em Portugal pequenas povoações cuja electricidade é fornecida exclusivamente por painéis solares fotovoltaicos, por se ter mostrado o sistema mais económico para o abastecimento destas;
- Mini-hídrica: são consideradas mini-hídricas os aproveitamentos cuja capacidade instalada é inferior a 10MW. Este tipo de fonte energética tem como vantagem a grande abundância da água, mas como ponto negativo tem a artificialização dos rios;
- Geotérmica: a energia geotérmica pode ser de dois tipos, se for acima de 150°C pode ser considerada de alta entalpia, abaixo de 150°C é considerada de baixa entalpia. Existem actualmente duas centrais geotérmicas em Portugal;

- Biogás e Biocombustível: o biogás é produzido por processos de digestão anaeróbia de resíduos de efluentes. Os biocombustíveis consistem em gasolina ou gasóleo, contendo aditivos (o aditivo da gasolina é o álcool, enquanto que o do gasóleo são óleos vegetais);
- Biomassa: em Portugal apenas existe uma central de biomassa. Este tipo de fonte energética pode ser gerada pela queima de resíduos florestais, promovendo assim a limpeza das florestas;
- Ondas: a energia das ondas é um tipo de aproveitamento muito recente, mas com o desenvolvimento desta tecnologia Portugal pode beneficiar muito, pois possui 800km de costa marítima continental;
- Cogeração: a cogeração não é considerada uma fonte renovável, mas é uma fonte alternativa de produção de energia a partir de ciclos combinados de calor, frio e electricidade.

Uma intervenção concertada sobre a globalidade destes aspectos é a finalidade deste trabalho. A realidade portuguesa, no que respeita ao consumo energético, não tem atendido a esta necessidade premente de redução, mas antes pelo contrário.

#### **2.1.4. Caracterização energética dos transportes em Portugal**

O sector dos transportes é o maior consumidor de energia final em Portugal, tendo ultrapassado a indústria em 1992, fruto de uma taxa de crescimento média que se mantém em cerca de 6% ao ano, desde 1985. Esta taxa de crescimento do consumo de energia é a maior registada nos países da UE para o sector, e cerca do dobro da taxa média europeia. No transporte de mercadorias, o modo rodoviário transportou oito vezes mais toneladas por quilómetro em 1999, que o modo ferroviário (DGE 2002). Este é um aspecto particularmente relevante quando se pretende falar de redução do peso das construções e utilização de materiais locais, já que os materiais de construção constituem actualmente uma das principais parcelas dos transportes de mercadorias rodoviários em Portugal, somente a par com a indústria alimentar. A pertinência de estudos que levem à redução do peso das construções, pela optimização dos materiais e sistemas construtivos utilizados, é assim especialmente relevante na redução do consumo de energia final, especialmente tendo em conta que para alguns materiais, nomeadamente aqueles mais pesados, o transporte é um dos principais factores que entram na energia incorporada final.

Os factores explicativos deste incremento do sector dos transportes são variados. Houve um acelerado processo de convergência real, em matéria de taxas de motorização e de consumos per capita neste sector, em parte resultante do aumento do rendimento disponível das famílias e de facilidades de acesso ao crédito. Em termos de desenvolvimento das infra-estruturas de transporte, as políticas de desenvolvimento têm privilegiado claramente o modo rodoviário em detrimento de outros energeticamente mais eficientes, como sejam os modos ferroviário e marítimo.

A dinâmica de crescimento nos transportes fez com que os consumos no sector em Portugal se tenham aproximado rapidamente do consumo médio per-capita da UE. Em 1985, na véspera da entrada na CEE, Portugal tinha um consumo de energia no sector de cerca de 47% da média da UE, contra 78% em 1998 (DGE 2002).

### 2.1.5. Caracterização dos consumos energéticos dos edifícios de habitação em Portugal

A construção de novos edifícios residenciais tem diminuído e prevê-se um cenário de estagnação, ou mesmo de declínio (Figura 2.1.10). No entanto, o sector dos edifícios representa, hoje, cerca de 20% dos consumos energéticos em Portugal, e com uma elevada taxa de crescimento, como se pode ver na Figura 2.1.11. O crescimento médio anual dos consumos de energia nos edifícios de habitação, entre 1990 e 2000, foi de 3,7% (DGE 2002), correspondendo no ano 2000 a cerca de 2,15Mtep, ou seja, a 13% dos consumos de energia final em termos nacionais. Só que esse valor representa 27% dos consumos de electricidade nacionais, o que evidencia desde logo a necessidade de uma atenção particular à eficiência energética dos equipamentos consumidores de electricidade como forma de moderação dos consumos.

Na Europa, calculava-se que o consumo global de energia no sector dos edifícios era de 40% (CIB 1999), o que coloca Portugal longe da média Europeia em termos percentuais, mas a explicação para tal facto deve ser procurada nas características do clima e não apenas numa menor qualidade de vida. O nível de conforto nos edifícios, nos aspectos higrotérmicos, tem aumentado exponencialmente nos últimos 10 anos. As necessidades ligadas à higiene (casa de banho, esgotos, água corrente quente e fria, máquinas de lavar, etc.), alimentação (fogão, frigorífico, etc.), conforto térmico (aquecimento e arrefecimento), entretenimento (TV, sistemas de som, etc.) e outros equipamentos eléctricos (computadores pessoais, pequenos electrodomésticos, etc.), são comodidades que foram sendo postas gradualmente à disposição dos utilizadores de edifícios de habitação. Mas tudo tem um custo: as comodidades traduzem-se num maior consumo de energia e consequente aumento da emissão de gases que contribuem para o aquecimento global.

O consumo de energia eléctrica depende muito directamente do rendimento disponível das famílias, pelo que o crescimento económico tem um forte impacto na posse e utilização de aparelhos consumidores de energia. Outra causa do aumento dos consumos de energia reside na enorme multiplicidade de pequenas e grandes ineficiências resultantes quer dos próprios equipamentos consumidores, quer dos maus procedimentos e hábitos de utilização desses equipamentos. Os edifícios residenciais em Portugal são utilizados pela totalidade da população, existindo alguma inércia em grande parte destes utentes na adopção de padrões eficientes de gestão dos consumos de energia. Isto deve-se não só a razões comportamentais dos consumidores na

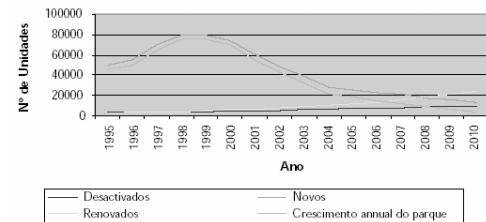


Figura 2.1.10. Parque de Edifícios residenciais (DGE 2002)

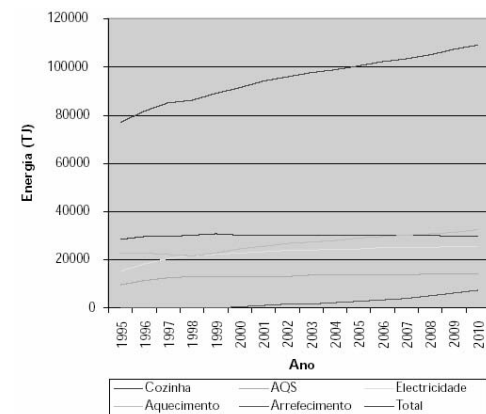


Figura 2.1.11. Consumos energéticos nos edifícios residenciais (DGE 2002)

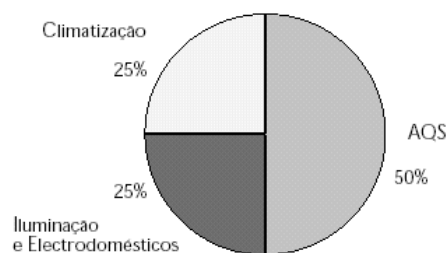
utilização dos equipamentos e dispositivos, bem como à falta de manutenção e substituição dos equipamentos obsoletos e reabilitação dos edifícios, que muitas vezes seria amortizável em poucos anos de utilização.

Em termos de utilizações finais, como se pode ver na Figura 2.1.12, os consumos de energia nos edifícios residenciais distribuem-se aproximadamente da seguinte forma: cozinhas e águas quentes sanitárias (AQS) 50%, iluminação e equipamentos (electrodomésticos) 25%, aquecimento e arrefecimento 25%. Estes valores representam uma ordem de grandeza, porventura grosseira quando referidos a sectores populacionais ou a áreas regionais específicas. No entanto ilustram onde se poderá actuar nos edifícios de forma a melhorar a sua eficiência térmica e energética. Assim:

- O peso correspondente às águas quentes sanitárias, cuja fonte energética (energia final) se divide entre o gás e a electricidade e onde a energia solar térmica poderá ter um impacto muito importante na redução, sendo um aspecto certamente a regulamentar, estando já previsto no futuro Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios;
- Outra das utilizações finais importantes nos edifícios corresponde aos consumos nos equipamentos e na iluminação, onde o incremento da eficiência energética é fundamental. Neste trabalho apenas se pretende intervir na optimização da iluminação natural, ainda que esta constitua geralmente uma parcela reduzida das necessidades de iluminação em habitação, caracterizada por uma ocupação nocturna, ao contrário, por exemplo, dos edifícios de serviços, de ensino, ou indústrias. Será no entanto de sublinhar as estratégias de etiquetagem energética e de obtenção de níveis mínimos de eficiência dos equipamentos; electrodomésticos e lâmpadas para poder informar os consumidores sobre quais as opções de iluminação artificial mais adequadas (DGE 2002);
- Finalmente, a última parcela, relacionada com os consumos destinados ao conforto térmico (aquecimento e arrefecimento), surge como uma terceira via de intervenção no sector. É relativamente a esta última estratégia que se espera intervir com este estudo.

Se bem que os consumos dedicados ao conforto não sejam ainda muito significativos em termos globais (cerca de 25%), eles têm aumentado muito nos últimos anos, e é de esperar que continuem a aumentar pelo facto das exigências de conforto individual estarem a generalizar-se à medida que o nível de vida aumenta.

Se não houver, na construção de edifícios, uma aplicação rigorosa de princípios, regras ou normas que promovam a utilização racional de energia e a introdução conscienciosa de novas tecnologias, esses níveis de conforto térmico tenderão a ser atingidos com maior recurso a sistemas de aquecimento e arrefecimento mecânicos, o que fará aumentar os consumos energéticos no sector, daí a pertinência de optimizar o desenho bioclimático.



**Figura 2.1.12.** Distribuição dos consumos de energia nos edifícios residenciais por áreas de consumo (DGE 2002)

Existem no entanto alguns obstáculos à implementação de estratégias bioclimáticas nos edifícios de habitação, por razões de diversa ordem, donde se destacam:

- Um elevado número de agentes envolvidos (promotores, projectistas, construtores e utentes) com objectivos muito distintos e mesmo contraditórios entre si;
- Inércia na implementação das mudanças pois, com uma vida útil média de um edifício de cerca de 50 anos, a taxa de renovação do parque construído é de cerca de 2% ao ano, o que exige actuações não só no que se constrói de novo, como também na renovação do existente;
- Ainda que Portugal seja um país de "clima ameno", em que o conforto pode facilmente obter-se naturalmente, ao contrário do que se passa noutros países europeus, um dos principais componentes do consumo de energia nos edifícios, são os sistemas de climatização mecânicos. Encontrando-se numa fase exponencial de crescimento, os sistemas mecânicos constituem um sinal de afirmação social para os seus utentes, que os utilizam mesmo quando não existe uma necessidade real para isso, criando uma falsa dependência;
- a regulamentação existente é limitada em termos de mecanismos de verificação, quer ao nível dos edifícios, quer ao nível dos sistemas energéticos (de iluminação, de climatização, de aquecimento de águas sanitárias, etc.) (DGE 2002);
- as indústrias de construção e de instalações mecânicas são tradicionalmente conservadoras e resistentes às mudanças, imperando ainda técnicas quase artesanais e predominando as preocupações do menor custo inicial, sendo difícil a penetração de soluções mais eficientes a médio e longo prazo;
- não há ainda muitos casos exemplares que sirvam de inspiração e motivação aos agentes que, de uma forma geral, não estão suficientemente bem informados nem sequer sensibilizados para a problemática do tema. Este é um dos aspectos onde se espera que este trabalho, nomeadamente pela construção de Células de Teste à escala humana, possa introduzir alguma mudança

Um dos objectivos que constavam do Programa E4 (Eficiência Energética e Energias Endógenas, aprovado em Setembro de 2001) era a revisão dos Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios (RCCTE) e Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização de Edifícios (RSECE), aumentando o grau de exigência e desempenho energético de referência para os edifícios novos (a construir), bem como para os edifícios a renovar. Esta revisão obedece aos seguintes princípios (DGE 2002):

- manter a mesma estratégia para a regulamentação, baseada em dois documentos com objectivos semelhantes aos actuais, um essencialmente para o sector residencial e outro para os serviços, por forma a capitalizar na rotina já estabelecida nos técnicos de projecto e de licenciamento em Portugal;

- adoptar para os novos regulamentos os princípios impostos pela nova Directiva Europeia, nomeadamente em termos de modelo de cálculo das necessidades energéticas, tipologias de edifícios com requisitos distintos, âmbito das medidas de utilização racional de energia (URE) a estudar, e critérios de viabilidade económica a adoptar no estabelecimento dos requisitos;
- adoptar todas as metodologias estabelecidas pelas normas Europeias aplicáveis à climatização e ao comportamento térmico dos edifícios, para maior harmonização de procedimentos;
- no RSECE, passar de uma estrutura baseada em limitação de potência para uma outra baseada na limitação efectiva dos consumos de energia nos edifícios de serviços;
- adoptar mecanismos mais eficazes de verificação do cumprimento da legislação mediante ligação à certificação energética;
- definir claramente as qualificações necessárias para os técnicos responsáveis pela aplicação destes regulamentos, reforçando o papel das Ordens e Associações Profissionais no reconhecimento dessas qualificações.

Com base na evolução prevista do parque de edifícios, tanto residenciais como de serviços, dos consumos energéticos e da penetração de fontes de energia, e por comparação com um cenário de referência em resultado da aplicação das iniciativas e estratégias de actuação preconizadas pelo P3E, espera-se conseguir uma redução das emissões de Gases de Efeito de Estufa (GEE) de cerca de 650.000T/ano em 2010 (DGE 2002). Os principais pressupostos para a previsão da evolução dos consumos de energia e emissões de GEE nos edifícios residenciais em Portugal são os seguintes:

- satisfação gradual do objectivo de uma habitação para cada família, que levará a uma redução substancial da taxa de crescimento em novas unidades de habitação nos anos mais próximos;
- que o mercado de 2ª habitação não introduza consumos adicionais, admitindo que os ocupantes ou estão numa ou noutra das suas habitações;
- aumento significativo da taxa de reabilitações;
- adopção da nova regulamentação térmica que se espera permita reduzir em 40% as necessidades de energia para climatização nas unidades novas e reabilitadas, a partir de 2005;
- aumento do recurso a meios de climatização mecânicos mais eficientes, bem como de tecnologias bioclimáticas, quer para aquecimento, quer para arrefecimento.

Com base nestes pressupostos, foi possível traçar as curvas da evolução das emissões da Figura 2.1.13, quer para o cenário descrito acima (designada P3E), quer para outro em que não é adoptada a melhoria de 40% no desempenho térmico dos edifícios novos e reabilitados (cenário de referência) (DGE2002).

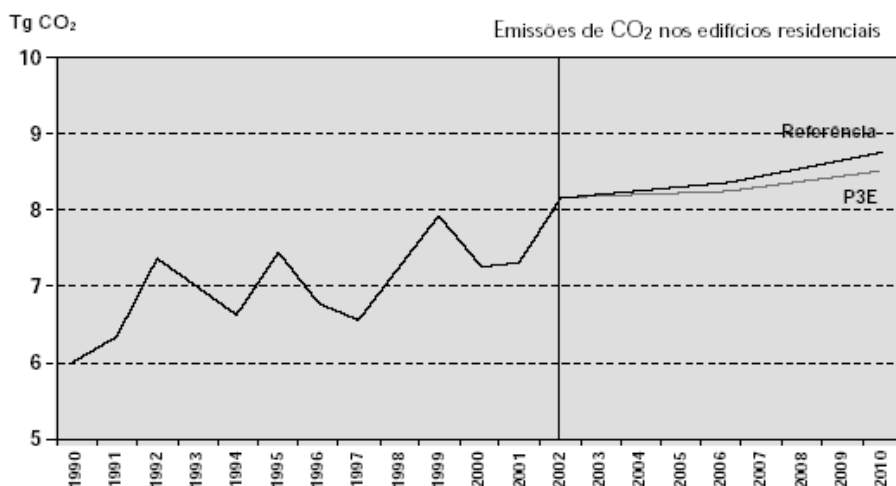


Figura 2.1.13. Emissões de CO<sub>2</sub> nos edifícios residenciais (DGE 2002)

Para a moderação do aumento das emissões, nos cenários trabalhados, contribui a maior penetração das fontes de energia renováveis na geração de energia eléctrica, dado o grande peso da electricidade nos edifícios residenciais (previsto para cerca de 43% em 2010), bem como a utilização crescente do gás natural, que se estima possa atingir 35% dos consumos em 2010 (preparação de AQS, cozinha e aquecimento).

Com o novo RCCTE, previsto para entrar em vigor em 2005, cujos efeitos se começarão a sentir fundamentalmente a partir de 2006, é possível adicionalmente prever uma redução das emissões de CO<sub>2</sub> em 2012 em 240.000T. A estimativa de redução no Potencial de Aquecimento Global, que contabiliza também outros GEE como o CH<sub>4</sub> e o N<sub>2</sub>O, é muito semelhante à estimativa para o CO<sub>2</sub>, apenas 260.000T, pois no caso dos edifícios residenciais a contribuição desses GEE é pouco significativa (DGE 2002).

No sector doméstico, a procura de energia tem acompanhado o crescimento global do consumo de energia, pese embora alguma incerteza devido à forte penetração das lenhas, de modo que o peso do sector doméstico no consumo final de energia se tem mantido aproximadamente constante, em torno dos 13%. Tem-se no entanto verificado uma alteração estrutural na procura de energia do sector, com reforço da penetração da energia eléctrica, cuja procura tem crescido a taxas médias anuais superiores a 7%. Como consequência, em 1999, o sector era já responsável por cerca de 27% da energia eléctrica consumida, contra os cerca de 22% em 1980 (DGE 2002).

As acções que contribuem para a racionalização do consumo final de energia em habitação contempladas no Programa E4, podem dividir-se em três tipos:

- Acções que condicionam a dimensão e o tipo de sistema de climatização necessário (só ventilação, só aquecimento ou só arrefecimento e, eventualmente, controlo de humidade), devido ao efeito que têm na envolvente do edifício. Neste grupo, incluem-se a regulamentação sobre o comportamento térmico dos edifícios e outras acções que incidem na qualidade térmica do edifício, como a

etiquetagem de edifícios, campanhas de informação do público com vista à melhoria da qualidade da envolvente do edifício e campanhas com vista à aquisição de edifícios termicamente eficientes. Este trabalho, ao realizar um estudo que incide especificamente na qualidade da envolvente dos edifícios, enquadra-se preferentemente neste grupo;

- Acções que influenciam directamente o desempenho do sistema de climatização. Neste grupo incluem-se a regulamentação sobre sistemas de climatização, a etiquetagem de equipamentos e sistemas, subsídios e incentivos fiscais na escolha dos sistemas mais eficientes. Prova-se com este trabalho que, quanto a este aspecto e no caso específico de habitações permanentes na maior parte das zonas climáticas do nosso país, apenas edifícios mal concebidos, ou com fortes condicionantes de envolvente, como por exemplo má orientação solar, irão necessitar de sistemas de climatização mecânicos numa forma sistemática, pelo que não se pretende fazer qualquer estudo deste tipo;
- Acções que influenciam indirectamente o desempenho do sistema de climatização. Neste grupo incluem-se a política dos preços da energia, campanhas de informação do público para manutenção de correctas condições interiores e para o uso e escolha do sistema de climatização. Estes são aspectos totalmente alheios a este estudo, não se pretendendo enquadrá-los neste.

Ao nível global da União Europeia, os edifícios são os maiores consumidores de energia (cerca de 40% da energia final), mesmo quando comparados com os sectores dos transportes e da indústria. Apesar dos progressos feitos em termos da qualidade da edificação e da eficiência na utilização da energia (por exemplo, as perdas térmicas, em edifícios novos na UE, são cerca de metade das que se verificavam em edifícios anteriores a 1945 (DGE 2002)), os estudos demonstram que subsiste uma ampla margem de melhoria, em matéria de racionalização dos consumos de energia em edifícios, a nível europeu. Tendo como objectivo explorar esse aspecto e, consequentemente, reduzir as emissões de gases percursores do efeito de estufa associadas ao sector, a Comissão Europeia apresentou a directiva 2002/91/EC especificamente destinada à melhoria da eficiência energética em edifícios, a ser implementada na legislação dos estados membros até 2006, cobrindo áreas de intervenção prioritárias através de:

- metodologias comuns, a nível europeu, para o cálculo do desempenho energético de edifícios;
- estabelecimento de padrões mínimos de eficiência, para edifícios novos e para edifícios que sejam sujeitos a renovações;
- sistemas de certificação de edifícios e de informação ao público, com base nos padrões estabelecidos e das condições de conforto no interior de edifícios de utilização pública;
- inspecção obrigatória de caldeiras e outros equipamentos de aquecimento e arrefecimento de edifícios.



Em Portugal, os consumos dedicados ao conforto térmico (aquecimento e arrefecimento) em habitação cresceram nos últimos anos, pelo que se torna premente uma especial atenção por parte de todos os agentes envolvidos.

Nas questões do aquecimento solar passivo e do arrefecimento natural, conforme já foi referido, espera-se com este trabalho poder contribuir para a redução significativa ou mesmo total dos consumos domésticos com sistemas mecânicos de aquecimento e arrefecimento. Pretende-se igualmente intervir nas questões de iluminação do sector da habitação, com vista à redução dos consumos eléctricos, pela optimização da iluminação natural, sendo este um aspecto em que existem lacunas graves em termos legislativos.

Outro aspecto em que existe uma deficiente legislação em Portugal é o do impacte ambiental da construção, em termos de materiais aplicados e sistemas construtivos, sendo este aspecto desenvolvido na próxima secção.

## 2.2. Impacto ambiental da construção

A sustentabilidade no sector da construção é um conceito pluridisciplinar que, para a sua implementação, requer a cumplicidade de todos os agentes implicados, desde os políticos e urbanistas que têm de legislar e definir os instrumentos de planeamento, aos projectistas que têm de conceber edifícios eficientes na optimização dos recursos energéticos, até aos utilizadores finais que devem ser capazes de utilizar o edifício da forma mais racional possível.

“O termo “país sub-desenvolvido” é um adjectivo que muitas vezes não se aplica quando analisado sob um ponto de vista ecológico. (...) Este termo refere-se essencialmente ao grau de industrialização de um país: muito industrializado, medianamente industrializado e pouco industrializado” (Berge 1992).

A maior parte do consumo global de recursos naturais dá-se na zona temperada do hemisfério norte. A Europa Ocidental importa cerca de 80% dos seus minerais e 60% da sua energia (Berge 1999). Mas uma grande parte das matérias-primas tem origem em outras zonas do planeta, o que significa uma dependência dos países industrializados em relação aos países menos desenvolvidos. No sentido de combater esta tendência está a processar-se um aumento do consumo e industrialização nos países menos desenvolvidos e uma desindustrialização nos países mais desenvolvidos. Muitos países Ocidentais têm deslocado toda ou parte da sua produção industrial para as zonas onde as matérias-primas têm origem, permitindo reduzir alguns impactes e custos resultantes do transporte das matérias-primas. A deslocação das indústrias pesadas dá-se igualmente por causa das menores exigências sob o ponto de vista das emissões poluentes que existem nesses países e que permitem utilizar sistemas de produção mais económicos mas menos ecológicos e por não existirem cotas limites de produção.

O transporte do produto final é o último factor que diz respeito essencialmente aos materiais. Os impactes relacionados com o transporte de materiais já foram referidos anteriormente.

O consumo energético durante a fase de obra constitui uma percentagem bastante inferior ao da produção dos materiais, nas realidades portuguesa e europeia actuais. Tal facto deve-se à utilização crescente de materiais industrializados com uma energia de produção elevada, em detrimento dos materiais naturais pouco transformados.

Os consumos energéticos de obra podem ser classificados em consumos directos e consumos indirectos. Os consumos directos são aqueles que dizem respeito ao estaleiro e actividade laboral dos operários. Os consumos indirectos são mais dificilmente avaliados, porque dizem respeito a todos os outros consumos de equipamentos, incluindo a manutenção e energia dispendida no seu fabrico e respectiva percentagem de amortização durante a utilização, bem como transportes de operários e equipamentos para e desde a obra.

Os consumos directos da obra podem dividir-se em dois grupos distintos:

- Consumo de energia na obra. Os gastos energéticos na obra dizem respeito a todas as actividades do estaleiro, tais como

consumos dos equipamentos mecânicos, iluminação, etc. Podem ser medidos nos gastos em combustível e electricidade do estaleiro, pelo que são facilmente mensuráveis. A quantidade de energia gasta em estaleiro aumentou consideravelmente nos últimos anos como resultado da crescente mecanização.

- Os consumos energéticos referentes à actividade laboral dos operários. A actividade laboral dos operários constitui uma pequena parcela dos gastos, mas será mais significativa em obras de mão-de-obra intensiva. Assumindo que um operário gasta 100 W/h (360 kJ), uma moradia unifamiliar de média dimensão consumirá em energia de mão-de-obra entre 75 e 150 kW/h (270 e 540 MJ) (Berge 1999).

Os consumos energéticos indirectos da obra são mais difíceis de avaliar, pois dizem respeito a alguns aspectos não contabilizados nos consumos da obra, como o transporte dos operários até ao local da obra, principalmente quando estes se deslocam em transportes públicos ou em veículos particulares, o transporte dos equipamentos, quando este é feito por terceiras empresas, o custo energético dos equipamentos e dos materiais de estaleiro, das embalagens dos produtos, etc.

Um dos aspectos mais importantes do consumo energético dos edifícios, são os factores que dizem respeito à utilização. Estes podem dividir-se em dois grupos:

- **Manutenção:** os agentes atmosféricos, o desgaste mecânico pelo homem, a poluição, etc., dão origem, mais tarde ou mais cedo, à necessidade de realizar trabalhos de manutenção nos edifícios. Nalguns casos, como a limpeza, o gasto energético é quase sempre pouco significativo, podendo dizer apenas respeito ao operário que a realiza, mas se for utilizada uma máquina deverá ser somado o consumo e manutenção desta. Se for utilizado um produto químico deverá ser somado o consumo energético para a sua produção. A aplicação periódica de pintura, por exemplo, pode implicar um significativo valor de energia a somar aos inputs energéticos do edifício, neste caso o consumo energético necessário para o fabrico da tinta e o transporte da mesma até à obra. Um outro aspecto da manutenção tem a ver com a reparação dos componentes construtivos ou a substituição por componentes novos. Neste caso a energia destes componentes tem de ser somada novamente ao consumo global energético do edifício, pelo que materiais com maior desgaste ou com necessidade de substituição, deverão preferencialmente ser ligeiros e de fácil separação das outras unidades. Por exemplo é recomendável que a camada de desgaste dum pavimento possa ser substituída por partes sem necessidade de substituir todo o pavimento.
- **Conforto:** este é um factor de grande repercussão no consumo global dos edifícios, já que os erros feitos na fase inicial de concepção vão manifestar-se durante todo o tempo de vida do edifício. Estes factos dizem respeito aos factores de conforto de iluminação (natural e artificial) e

conforto higrotérmico (climatização e ventilação naturais e artificiais). Os aspectos da iluminação, climatização e ventilação naturais serão mais detalhadamente desenvolvidos em capítulos posteriores.

Os impactes ambientais dos edifícios e dos materiais componentes não terminam no fim da sua vida útil, podendo inclusivamente ser muito significativos se a demolição ou recuperação destes não tiver sido devidamente ponderada aquando da sua concepção. O consumo energético resultante da demolição e remoção dos materiais de construção constitui em média cerca de 10% da energia total desde a sua produção (Berge 1999). Durante a fase de demolição, os dois parâmetros mais significativos que podemos considerar são:

- O desmantelamento, que inclui os consumos energéticos e o desgaste de todo o equipamento necessário para a demolição, desmontagem e mão-de-obra;
- O transporte dos resíduos para aterro ou para reciclagem. Os valores aqui a contabilizar são os apresentados anteriormente para o transporte das matérias-primas e produtos finais, fechando o ciclo dos consumos energéticos da construção. A Indústria de construção em Portugal é responsável por cerca de 7,5 milhões de toneladas de resíduos sólidos (INE 2002).

Esquemáticamente, podemos dividir os impactes ambientais dos edifícios, ao longo da sua vida útil, segundo um esquema de “inputs” e “outputs”, que se apresenta na Figura 2.2.1. Estão incluídos nos “inputs” a energia e as matérias-primas e nos “outputs” a poluição atmosférica e os resíduos.

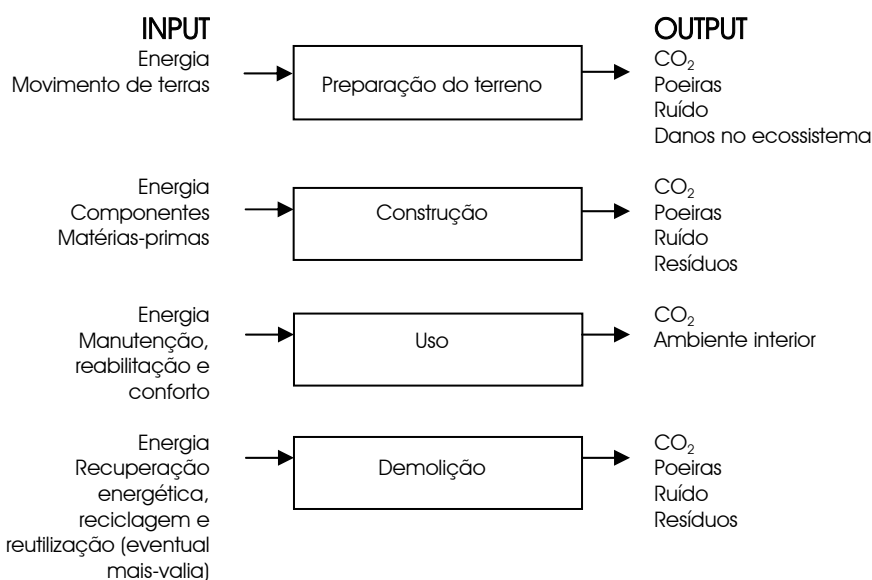


Figura 2.2.1. Impacte ambiental dos edifícios ao longo do tempo de vida útil

Segundo Dimson, os edifícios são responsáveis por 40% da energia consumida anualmente (Dimson 1996). Estes valores referem-se a edifícios localizados no Centro e Norte da Europa. “No caso de Portugal, o clima ameno e uma situação de generalizado desconforto no interior dos edifícios tem feito com que a energia consumida – cerca de 20% do consumo energético total – não

tenha, em termos relativos, nada a ver com os níveis de consumo nos parceiros europeus. A melhoria das condições de vida dos portugueses e a facilidade de acesso a maior conforto e bem-estar tende a fazer crescer os consumos de energia nos edifícios, como, aliás, está a acontecer actualmente, verificando-se no sector da habitação e serviços a maior taxa de crescimento dos consumos de energia em Portugal. Cerca de metade da energia total é aqui consumida nos edifícios, em particular para aquecimento, mas igualmente e cada vez mais, para arrefecimento” (Fernandes 1991).

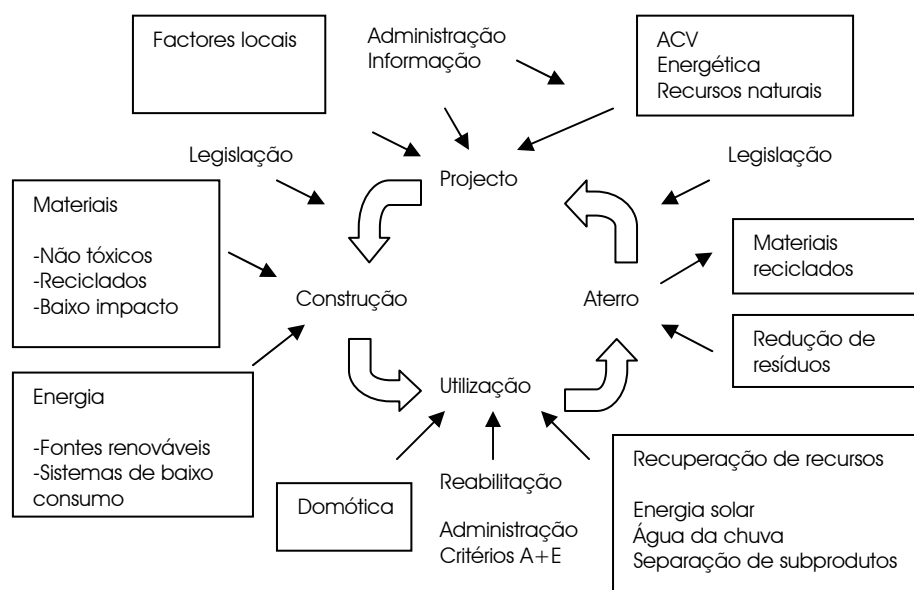
Da percentagem global do consumo de energia total durante 50 anos de uso, a quantidade de energia que de facto entra na produção dos materiais de construção num edifício, constitui entre 6 e 20% e depende do tipo de edifício, clima, etc (Berge 1999). Esta não é uma percentagem que se possa considerar muito relevante, ainda que para climas temperados, como o de Portugal, os valores em termos estatísticos se aproximam ou podem mesmo ultrapassar o valor máximo apontado por este autor, que se referia especificamente ao Norte da Europa, onde os consumos com a manutenção do conforto térmico são substancialmente superiores. A intervenção a nível da redução do consumo energético da obra é assim muito mais significativa no consumo energético global do que nos países de clima mais desfavorável, pelo que se pode concluir que este factor tem uma maior importância em Portugal do que na maior parte dos restantes países da Europa. É também necessário ter em conta que os gastos de energia derivados do uso do edifício, se este for já optimizado em termos do desenho e exposição solar das suas aberturas, vai atingir um limite onde já muito dificilmente se poderá introduzir uma melhoria, sem que isso implique um aumento exagerado nos custos económicos e mesmo nos custos energéticos de produção.

Por outro lado, se pensarmos que o desmantelamento, tratamento e transporte de resíduos no fim da vida útil também representam energia, então a atitude de quem concebe os edifícios terá forçosamente de prever que o custo energético se deverá amortizar ainda após os 50 anos geralmente previstos para a vida útil (reutilizando ou reciclando).

Há muitas formas de melhorar a eficiência energética dos edifícios. Uma quota-parte da responsabilidade em não desperdiçar energia cabe aos ocupantes, que terão para isso de ser de alguma forma sensibilizados, mas é aos projectistas que concebem o edifício que compete dotá-lo com o máximo possível de qualidades que permitam a gestão das energias disponíveis da forma mais racional. Cabe também aos políticos e aos técnicos que os assessoram legislar sobre as questões ambientais da construção, obrigando os promotores a incluir estes aspectos nas suas preocupações essenciais, e não apenas o lucro. Mas antes de realizar qualquer acção no sentido de reduzir os custos ambientais das construções há que ter consciência de todos os factores intervenientes, pelo que é necessário fazer uma análise de ciclo de vida (ACV) das construções. O Ciclo de Vida duma construção encontra-se representado na Figura 2.2.2.

Os impactos ambientais que a construção de edifícios tem sobre o meio ambiente podem analisar-se a partir dos seguintes pontos:

- Implantação e integração dos edifícios nos locais;
- Comportamento do edifício ao longo da sua vida útil, analisado a partir da influência do desenho arquitectónico;
- Consumo energético durante a vida útil, analisado a partir dos equipamentos utilizados;
- Características dos materiais utilizados: pelo impacto que podem produzir sobre o meio ambiente durante os processos de extracção de matérias-primas, de fabrico, durante a vida útil e durante a fase de reciclagem ou aterro (Cerdá 1999).



**Figura 2.2.2.** O ciclo de vida do edifício (Cerdá 1999)

Para avaliar o impacto ambiental duma construção durante todo o seu ciclo de vida, podemos distinguir duas componentes essenciais: uma componente energética e uma componente material, que estão normalmente associadas.

A componente material diz respeito às matérias-primas que se utilizam na própria construção. A indústria da construção é a segunda maior consumidora de matérias-primas do mundo, actualmente, após a indústria alimentar (Berge 1999). A Indústria da construção civil é responsável pelo consumo de 25% da produção de madeira e 40% dos agregados (pedra, grilha e areia) em todo o mundo. Os edifícios são também responsáveis por 16% da água consumida anualmente (Dimson 1996).

Quando as matérias-primas são pouco transformadas, apenas manuseadas ou transportadas a curtas distâncias, podemos dizer que o impacto em termos energéticos é praticamente nulo, existindo apenas o gasto de matérias-primas. No entanto, quando as matérias-primas exigem um gasto energético para a sua extracção, transformação, transporte, ou exigem equipamentos mecânicos para a sua montagem em obra, trazem gastos energéticos incorporados.

A componente energética da construção não diz apenas respeito às fases de extracção e produção dos materiais e à obra, mas continua durante a utilização do edifício e mesmo na fase de demolição, pelo que a avaliação do impacte ambiental global duma construção se torna complexa. É assim relativamente difícil diferenciar a componente energética da componente material, já que em praticamente todas as fases do ciclo de vida dos materiais estão presentes as duas componentes. Na Figura 2.2.3 representam-se esquematicamente as fases do ciclo de vida dos materiais de construção.

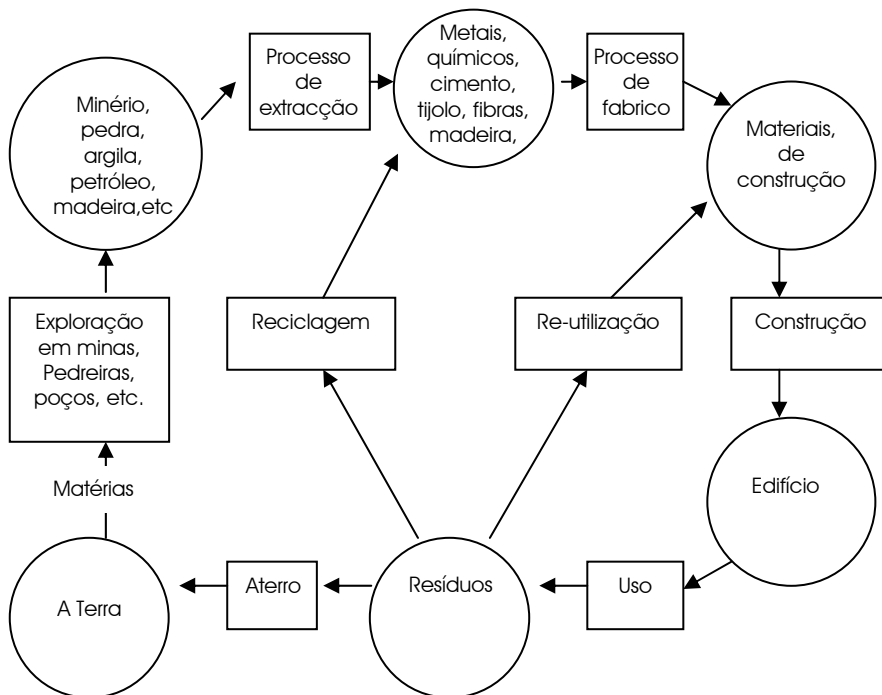


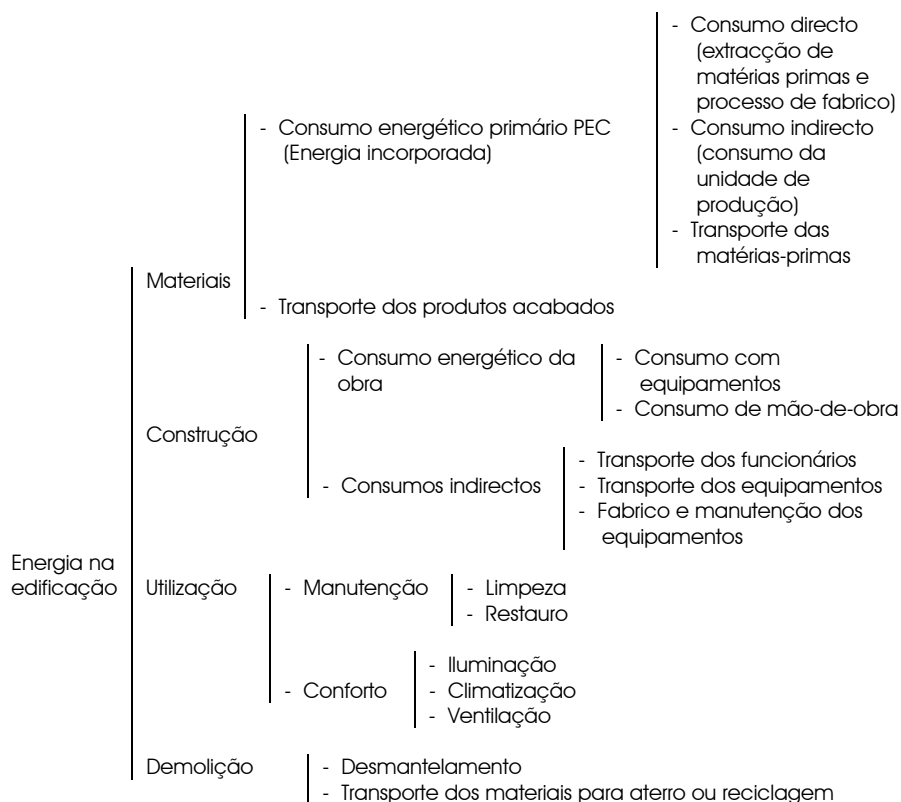
Figura 2.2.3. O ciclo de vida dos materiais de construção - adaptado de Berge (Berge 1999)

### 2.2.1. Poluição energética da construção

A indústria da construção é uma grande consumidora de matérias-primas e energia; às quais se associam as consequentes emissões poluentes, aliadas quer à extracção e produção dos materiais de construção, quer ao uso e demolição do edifício. A poluição reveste-se de várias formas, dentre as quais as mais importantes são a atmosférica e a da água. Em ambos os casos, as consequências nefastas podem manifestar-se no meio ambiente natural, nos edifícios e nas pessoas que os habitam e usam. Recentes alterações climáticas, em particular aumentos de temperatura nalgumas regiões do globo, têm já afectado muitos sistemas físicos e biológicos. Existem também indicações, embora preliminares, de que alguns sistemas humanos estão a ser afectados pelo recente aumento da frequência de episódios de cheias e secas (IPCC 2001).

Os combustíveis fósseis são a mais importante causa de poluição tanto em utilização do produto final, como nas fases intermédias de transformação e transporte (Echarri Prim 2003).

O uso de energia nas construções divide-se entre a produção, a distribuição e a utilização dos materiais de construção, sendo resumido na Figura 2.2.4.



**Figura 2.2.4.** Distribuição dos gastos energéticos nas construções

O fabrico, manutenção e renovação dos materiais numa habitação de construção em blocos de betão para um tempo de vida útil de 50 anos requer uma energia de  $833\text{kWh/m}^2$  ( $3000\text{MJ/m}^2$ )<sup>1</sup>. Para edifícios de maior dimensão, em aço ou betão armado, a energia necessária é de aproximadamente  $694\text{kWh/m}^2$  ( $2500\text{MJ/m}^2$ ) (Berge 1999).

A energia primária incorporada num determinado material de construção corresponde à energia utilizada para o seu fabrico e designa-se na literatura inglesa por PEC (Primary Energy Consumption). Um factor importante no cálculo da PEC é o valor de combustão do produto. Este baseia-se na quantidade de energia que produziria a matéria-prima utilizada no produto se fosse utilizada como combustível. O valor de combustão é normalmente incluído na PEC, pois essa matéria-prima teria um elevado valor como fonte de energia e se este valor for removido ou substancialmente reduzido no produto tem-se uma falsa imagem da equação energética.

A PEC corresponde em média a 80% do total de energia associada ao fabrico do produto e divide-se da seguinte forma (Berge 1999):

<sup>1</sup> Optou-se por indicar valores de energia em kWh, apesar da unidade SI ser o MJ, pelo facto de ser mais fácil comparar com os dados obtidos em termos de desempenho térmico.



- O consumo energético directo da extracção das matérias-primas e do processo de produção. Varia com o sistema produtivo e com o tipo de equipamentos utilizados, sendo normalmente inferior quanto menos transformações envolver a matéria-prima;
- O consumo indirecto do processo de fabrico. Refere-se ao consumo energético dos equipamentos, climatização e iluminação na fábrica e ambiente de trabalho, sendo normalmente um valor menos significativo que o directo;
- A energia do transporte das matérias-primas e materiais semi-processados. A escolha dos tipos de transporte utilizados também constitui um factor decisivo na quantidade de energia gasta, conforme se pode ver na Tabela 2.2.6. (Berge 1999). Os materiais importados de longas distâncias chegam essencialmente por via marítima e de médias distâncias por transporte rodoviário, sendo utilizado muito raramente o ferroviário. A opção por transportar materiais pesados em grandes distâncias, apesar de eventualmente poder ser economicamente viável, será sob o ponto de vista energético sempre pouco recomendável. Por exemplo, enviar uma pedra com 1 tonelada a uma distância de 10.000km por via marítima terá um custo energético de 1.175kWh (4.230MJ); por via terrestre a mesma pedra a uma distância de 1.000km terá um custo energético de 803kWh (2890MJ), enquanto a energia gasta para a sua extracção é somente de 27,8kWh (100MJ).

Além das consequências nefastas na camada de Ozono, a poluição atmosférica tem influência directa na qualidade do ar na camada mais baixa da atmosfera. Esta é actualmente composta pelas seguintes percentagens, em peso, dos gases (Berge 1999):

- Azoto ( $N_2$ ) – 75,6%;
- Oxigénio ( $O_2$ ) – 23,1%;
- Dióxido de carbono ( $CO_2$ ) – 0,046%;
- Hidrógeno ( $H_2$ ) – 0,000 003 5%;
- Pequenas quantidades de árgon (Ar), krypton (Kr) e xénon (Xn);
- Quantidades variáveis de vapor de água;
- Quantidades variáveis de gases poluentes.

Estas percentagens têm variado ao longo do tempo, mas aquele elemento que maior influência tem no chamado “aquecimento global”, com 60% do total, é a concentração de dióxido de carbono, conforme se pode ver na Tabela 2.2.1, que aumentou 31% desde 1750 (IPCC 2001). A queima de todas as substâncias vegetais produz dióxido de carbono, mas em quantidades inferiores ao absorvido por fotossíntese pela planta da qual este é extraído. Assim, a reflorestação em cadência igual à da exploração, na queima de madeira, é perfeitamente sustentável e não conduz ao aumento do efeito de estufa. Uma árvore de grande dimensão pode absorver 10kg de  $CO_2$  durante um período diurno. Cerca de 30% deste é libertado durante a noite, o que para um período de 24h se traduz num balanço positivo em 7kg de  $CO_2$ .

Potencialmente existem gases muito mais nefastos para os ecossistemas que o  $CO_2$ , como se pode ver na Tabela 2.2.2. O

problema reside da imensa quantidade de  $\text{CO}_2$  que se emite para a atmosfera ao queimar os combustíveis fósseis, daí a elevada contribuição deste para o aquecimento global (60%).

A poluição energética do processo de fabrico dum determinado material depende do tipo e quantidade de energia primária gasta. As fontes de energia variam de país para país mas, na Europa em geral, os tipos de energia mais utilizados são os combustíveis fósseis e a energia nuclear (Berge 1999). Os materiais de construção de maior energia incorporada podem desta forma contribuir indirectamente para o aumento da concentração de  $\text{CO}_2$  e para a poluição radioactiva, pela energia nuclear utilizada na sua produção.

**Tabela 2.2.1.** Concentração e contribuição para o aquecimento global dos diversos gases poluentes

GEE	Aumento da concentração desde 1750 (%)	Contribuição para o aquecimento global (%)	Principais fontes de emissão
$\text{CO}_2$	31	60	Uso de combustíveis fósseis, desflorestação e alteração dos usos do solo
$\text{CH}_4$	151	20	Produção e consumo de energia (incluindo biomassa), actividades agrícolas, aterros sanitários e águas residuais
$\text{N}_2\text{O}$	17	6	Uso de fertilizantes, produção de ácidos e queima de biomassa e combustíveis fósseis
Compostos halogenados (HFC, PFC e $\text{SF}_6$ )	-	14	Indústria, refrigeração, aerossóis propulsores, espumas expandidas e solventes

Fonte: (IPCC 2001)

A redução dos níveis de emissão de GEE é um objectivo de longo prazo e integra-se, prioritariamente, na estratégia dos países que assinaram o Protocolo de Quioto. De acordo com o IPCC (Intergovernmental Panel on Climatic Change) deverá ser feita uma redução de 60 a 70% das emissões de dióxido de carbono, para se estabilizar o efeito de estufa (IPCC 2001).

O conceito de Potencial de Aquecimento Global (PAG) foi desenvolvido para se poder comparar a capacidade de cada gás enquanto potenciador do efeito de estufa. O dióxido de carbono foi escolhido como o gás de referência. As estimativas dos GEE podem assim ser apresentadas em termos de  $\text{CO}_2$  equivalente, com base no PAG. Para os gases constantes do Protocolo de Quioto, os valores de PAG, calculados tendo por base um tempo de vida médio de permanência na atmosfera de 100 anos, são os descritos na Tabela 2.2.2.

**Tabela 2.2.2.** Potencial de Aquecimento Global pelos gases poluentes

Gás	$\text{CO}_2$ equivalente
$\text{CO}_2$	1
$\text{CH}_4$	21
$\text{N}_2\text{O}$	310
HFC	140 – 11700
PFC	6 500 – 9 200
$\text{SF}_6$	23 900

Fonte: (IPCC 2001)

Na Tabela 2.2.3 são mostrados os custos de energia primária incorporada de materiais comuns utilizados em construção no Sul da Europa e nomeadamente na Península Ibérica. Também são incluídos plásticos e materiais isolantes, já que têm uma cada vez maior implementação.

**Tabela 2.2.3.** Energia primária incorporada na produção de diversos materiais de construção

Material	PEC – Energia Primária incorporada de produção		
	Valores adoptados [kWh/kg]	Valores adoptados [MJ/kg]	Outras fontes [kWh/kg]
Aço (comercial 20% reciclado)	9,730 <sup>4</sup>	35,028	13,120 (1)
Aço (100% reciclado)	2,780 <sup>5</sup>	10,008	
Aglomerado de madeira	1,080 <sup>2</sup>	3,888	
Aglomerado de pedra	0,055 <sup>1</sup>	0,198	
Alumínio (comercial 30% reciclado)	44,480 <sup>4</sup>	160,128	
Argamassa de cimento	0,530 <sup>2</sup>	1,908	
Betão estrutural	0,330 <sup>1</sup>	1,188	0,280 (4)
Borracha	19,440 <sup>5</sup>	70,000	
Cal	0,278 <sup>5</sup>	1,000	
Cerâmica (louça sanitária)	7,650 <sup>4</sup>	27,540	
Cerâmica (para revestimento, vidrada)	5,690 <sup>2</sup>	20,484	2,780 (4)
Cimento	3,180 <sup>1</sup>	11,448	1,950 (4)
Cloreto de Polivinilo (PVC)	21,500 <sup>2</sup>	77,400	22,240 (4)
Contraplacado	1,390 <sup>4</sup>	5,004	
Cortiça	1,110 <sup>5</sup>	3,996	
Fibra de vidro	6,800 <sup>2</sup>	24,480	8,340 (4)
Gesso	1,050 <sup>2</sup>	3,780	
Gravilha	0,017 <sup>5</sup>	0,0612	0,028 (4)
Isolamento fibras naturais (Fibra de côco)	3,900	14,040	
Lã mineral	5,750 <sup>1</sup>	20,700	
Linóleo	0,270 <sup>5</sup>	0,972	
Madeira (importada)	10,770 <sup>1</sup>	38,772	
Madeira (local)	0,180 <sup>1</sup>	0,648	
Pedra local em alvenaria	0,083 <sup>5</sup>	0,299	
Pintura e verniz sintéticos	21,550 <sup>2</sup>	77,580	27,80 (4)
Pintura plástica (base aquosa)	5,560 <sup>4</sup>	20,000	
Poliéster (UP)	21,700 <sup>5</sup>	78,120	
Poliétileno (PE)	24,190 <sup>2</sup>	87,084	
Poliétileno de alta densidade (HDPE)	24,300 <sup>2</sup>	87,480	
Polimetilmetacrilato (PMMA)	57,580 <sup>2</sup>	207,288	
Polipropileno (PP)	23,270 <sup>2</sup>	83,772	
Polistireno (PS)	27,860 <sup>2</sup>	100,296	
Polistireno expandido (EPS)	31,000 <sup>2</sup>	111,600	27,80 (4); 20,85 (3)
Polistireno expandido extrudido (XPS)	27,860 <sup>2</sup>	100,296	27,800 (4)
Poliuretano expandido (PUR)	19,460 <sup>4</sup>	70,056	
Tela asfáltica	4,050 <sup>2</sup>	14,580	2,780 (4)
Tela borracha (Styrene Butadiene Rubber)	19,660 <sup>2</sup>	70,776	
Terra compactada	0,027 <sup>5</sup>	0,097	
Tijolo	1,260 <sup>4</sup>	4,500	0,830 (5)
Vidro	5,110 <sup>2</sup>	18,396	5,280 (4)
Vinílico	3,280 <sup>2</sup>	11,808	

Fontes:

(1) Harris, D.J.; Building and Environment 34, vol.751-758; 1999.

(2) Mumma, Tracy; Construction, Reducing the Embodied Energy of Buildings; Home Energy Magazine Online January/February; 1995.

(3) Yeang, Ken; Proyectar con la naturaleza, Bases ecologicas para el proyecto arquitectonico; Editorial Gustavo Gili; 1995.

(4) Rovira Fontanals, Josep Lluis; Casado Martinez, Imma; Guia de l'edificacio sostenible; Institut Cerdà; 1999.

(5) Berge, Bjorn; Ecology of Building Materials; Architectural Press; 1999.

Outro impacto negativo associado à queima de petróleo e gás natural é a chuva ácida, neste caso não tanto pela produção de óxidos de enxofre, como no caso do carvão, mas sobretudo pela produção de óxidos de azoto, como se pode ver na Tabela 2.2.4 (IPCC 2001).

**Tabela 2.2.4.** Poluição devida à obtenção de energia a partir de combustíveis fósseis [g/MJ]

Material	CO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>
Petróleo	75	0,50	0,15
Gás natural	57	0,01	0,16
Carvão com baixo conteúdo de carvão	110	0,03	0,16
Carvão com alto conteúdo de carvão	93	0,01	0,16

Fonte: (Berge 1999)

Pela grande produção de CO<sub>2</sub> ocasionada pelos motores de explosão, a poluição energética na indústria da construção deve-se também, numa grande parte, ao transporte dos materiais de construção. Os factores decisores são o tipo de material, o peso, o método de transporte e a distância percorrida, que poderão alterar ligeiramente alguns dos valores apresentados na Tabela 2.2.5. No caso dos materiais de construção, pela aleatória localização das obras, o meio de transporte privilegiado é o rodoviário, o que implica um significativo contributo para as emissões globais de CO<sub>2</sub>.

Na Tabela 2.2.6 podem ver-se os consumos de energia primária, e as emissões poluentes segundo outro autor, para diversos meios de transporte e verificar que apenas o transporte por avião é mais poluente que o transporte rodoviário, tendo em conta a situação actual. Claro que estes valores são diferentes de país para país e têm tendência a reduzir com o aumento da eficiência dos motores.

**Tabela 2.2.5.** Poluição associada aos transportes com motores de combustão [g/ton.km]

Tipo de transporte	CO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>
Diesel: rodoviário	120	0,10	1,90
Diesel: marítimo	50	0,30	0,70
Diesel: ferroviário	50	0,05	0,75

Fonte: (Fossdal, 1995)

**Tabela 2.2.6.** Emissões e consumo de energia primária de diversos meios de transporte

Emissões (g /ton.km)	Marítimo	Ferrovário	Rodoviário	Aéreo
CO <sub>2</sub>	30,00	41,00	207,00	1206,00
CH <sub>4</sub>	0,04	0,06	0,30	2,00
NO <sub>x</sub>	0,40	0,20	3,60	5,50
CO	0,12	0,05	2,40	1,40
VOCs	0,10	0,08	1,10	3,00
Energia (Wh/ton.km)	118,00	188,00	803,00	4400,00
(kJ/ton.km)	423,00	677,00	2890,00	15839,00

Fonte: (Energy Research Group 1999)

No caso do território português o transporte rodoviário de mercadorias é praticamente o único utilizado e especificamente nos materiais associados à construção civil na sua fase de produto acabado, dizendo respeito ao transporte para armazém e ao transporte para a obra.

### 2.2.2. Poluição material da construção

A poluição material diz essencialmente respeito aos poluentes no ar, terra e água do material em si e dos componentes do material quando em fase de produção, de uso e de demolição. O quadro torna-se mais complexo tendo em consideração que cerca de 80.000 produtos químicos, com efeitos nocivos para a saúde, são utilizados na indústria da construção, e que o número destes quadruplicou desde 1971 (Berge 1999). Na Tabela 2.2.7 podem ver-se alguns dos materiais e os respectivos efeitos poluentes.

**Tabela 2.2.7.** Poluição associada à produção e resíduos dos materiais de construção

Material		Poluição atmosférica			Resíduos do processo de produção		Resíduos da construção e demolição
		GWP* (g/kg)	AP** (g/kg)	COD POCP*** (g/kg)	g/kg de produto	Percentagem levada a aterros especiais	Tipo de resíduo****
Aço	100% reciclado	557	3	4			D
	galvanizado (de minério)	2.230	10	840	601	5	D
	inoxidável (de minério)	2.230	10				D
Aglomerado de madeira	poroso sem betume				81	5	A/D
	poroso com betume						B/E
	alta densidade sem betume	766	3	8	80		A/D
	alta densidade com betume						B/E
Alumínio (50% reciclado)		11.102	60	119	715	20	D
Betão (com cimento Portland)	estrutural	65	1	0,3	32		C
	telhas	131	1	1			C
	lajetas reforçadas com fibra	434	2	3	81	10	C
	argamassa	98	0,8	11	17	10	C
	blocos com agregados leves	307	2	38	58	13	C
Betume		489	4		3		B/D
Borracha de estireno butadieno (SBR)							
Chumbo (de minério)		1.137	10	63	265	5	E
Cloreto de polivinilo (PVC)		1400	13	0,5			D
Cobre (de minério)		5.234	140	64	2.410	84	D
Contraplacado marítimo		69	1	102	40	2	B/D
Cortiça		277		1			A/D
Ferro fundido (de minério de ferro)		771	6	5			D
Fibra de celulose	isolamento 100% reciclado c/ sais bóricos	160	3	3			E
	papel de construção não branqueado 98% reciclado						A/D
Fibra de juta (fio)							A/D
Fibra de linho (fio)							A/D
Fibra de madeira (isolamento)							A/D
Gesso cartonado		265	3	2	8	10	D
Lã de rocha		1.076	6	5	320	5	D
Lã de vidro		1.210	7	6	90	5	D
Linóleo					2		B/D
Madeira	não tratada	116	1	1	25		A/D
	tratada						E
	lamelado colado						B/D
Mosaicos cerâmicos		571	4	51	9		C
Pedra		8	0	0			C
Poliéster (UP)							B/D
Poliestireno expandido (EPS)		1650	11	0,2			B/D
Poliestireno expandido extrudido (XPS)							B/D
Polietileno (PE)		751	9	0,1			B/D
Polipropileno (PP)		900	7	0,1			B/D
Poliuretano expandido (PUR)		3900	30	42	486	7	B/D
Perlite expandida	com betume						E
	sem betume	871	2	1			C
Telhas de barro		190	2	17	95	10	C
Terra compactada		8	0	0			C
Tijolos de barro		190	2	17	87	15	C
Vidro		569	44	2			C

\* GWP (Global Warming Potential) Potencial de aquecimento global em gramas de CO<sub>2</sub> equivalentes;

\*\* AP (Acid potential) Potencial ácido em gramas de SO<sub>2</sub> equivalentes;

\*\*\* COD (Chemical Oxygen Depletion) Esgotamento químico do Oxigénio em gramas de NO<sub>x</sub>; POCP (Photochemical Ozone Creation Potential); Potencial fotoquímico de criação de Ozono em gramas de NO<sub>x</sub>

\*\*\*\* A - Queima sem filtragem; B - Queima com filtragem; C - Aterro ou inerte comum; D - Aterro municipal; E - Aterro especial.

Fonte: (Berge 1999)

A Indústria de Construção faz uso de diversas matérias-primas em materiais compostos com um ciclo de vida complexo, muitos deles com um custo energético alto (relativamente à função que desempenham), em detrimento de alternativas existentes de

materiais menos transformados, reciclados e mesmo reutilizados. A máxima utilização de materiais locais e pouco transformados implica por si só uma redução dos impactes ambientais. Mas a redução destes também se pode obter pela minimização do uso dos materiais, com uma redução do peso global do edifício e menores impactes resultantes da extracção de matérias-primas, dos processos de produção e dos estaleiros (com redução do ruído, poeiras, desperdícios e consumo de energia durante a construção), além duma redução proporcional dos factores de perda e energia associada com o transporte.

Um princípio de actuação futuro deverá ser uma redução drástica na utilização de matérias-primas. Isto é preferencialmente necessário para os recursos menos abundantes, mas não deixa de ser igualmente recomendável para os mais abundantes. Os recursos são normalmente definidos como sendo “renováveis” ou “não renováveis”.

Os renováveis são aqueles que, como o nome indica, podem ser renovados ou explorados em ciclos regulares, tal como a madeira. Estes recursos podem ser explorados enquanto as condições necessárias para a renovação dos mesmos se mantenham. O chamado “buraco da camada de ozono” é um exemplo de como estas condições podem ser drasticamente alteradas, quando se sabe que grandes partes dos recursos renováveis dependem da fotossíntese. Foi estimado que o homem utiliza actualmente 40% da actividade fotossintética da terra (Brown 1990).

Os recursos não renováveis são aqueles que não podem ser renovados na mesma cadência da sua exploração, tal como as madeiras tropicais. Existem também aqueles que demoraram milhões de anos a formarem-se tais como: o petróleo ou o gás natural, ou aqueles cujas reservas se esgotam efectivamente sem qualquer capacidade de renovação, mesmo a muito longo prazo, como o minério de ferro. As reservas destes estão seriamente limitadas em todo o mundo, pela grande cadência de exploração. Existem alguns recursos não renováveis muito abundantes, mas que em certas regiões começam a escassear, tal como a areia ou os agregados (Berge 1999). A duração prevista em 1992 das reservas das matérias-primas não renováveis é apresentada na Tabela 2.2.8.

A soma dos recursos “viáveis” e “menos viáveis” é também chamada de “recursos de matérias-primas”, enquanto os recursos viáveis são chamados “reservas de matérias-primas” (Berge 1999).

Existem casos em que o incremento tecnológico tem um impacto negativo na extracção das matérias-primas. O problema da extracção de minérios é uma questão de economia, tecnologia disponível, impactes paisagísticos e ambientais e consumo energético. Em 1900 estimava-se que para realizar a extracção de cobre duma forma viável seria necessária uma percentagem de pelo menos 3% de cobre no minério (Berge 1999). Em 1970 esta percentagem baixou para 0,6%, o que significa que certos recursos, economicamente inviáveis para ser explorados no passado, podem tornar-se viáveis mais tarde. No entanto este

escasseamento dos recursos de minério, implica modernas tecnologias de exploração, que não se coadunam com pequenos depósitos, pelo que, actualmente, só as grandes explorações, de maior impacte, são economicamente viáveis.

**Tabela 2.2.8.** Duração prevista das reservas de recursos naturais existentes em 1992

Matérias-primas	Disponibilidade estimada de reservas existentes (anos)
<b>Minerals</b>	
Adobe	Muito abundante
Agregados (areia, gravilha)	Muito abundante
Argila de barro	Muito abundante
Arsénico	21
Bauxite	220
Cádmio	27
Chumbo	20
Cobre	36
Crómio	105
Enxofre	24
Estanho	28
Ferro (minério)	119
Gesso	Muito abundante
Cal	Muito abundante
Níquel	55
Ouro	22
Pedra	Muito abundante
Perlite	Muito abundante
Quartzo	Muito abundante
Sais Bóricos	295
Sais Minerals	Muito abundante
Silica	Muito abundante
Titânio	70
Zinco	21
<b>Fóssels</b>	
Carvão	390
Gás Natural	60
Petróleo	40

Fonte: World Resource Institute (Crawson 1992)

Os recursos de matérias-primas podem também ser classificados como “explorados” ou “não explorados” (Berge 1999). Existem recursos utilizados actualmente que há alguns anos não o eram, tal como o petróleo, que só começou a ser explorado depois do século XIX. Com o crescente ritmo de exploração dos recursos disponíveis e utilizados, estamos no limiar do esgotamento de muitos destes. Aqueles com maior risco de esgotamento são os minérios e o petróleo (Berge 1999). Podemos no entanto prever que certos recursos não utilizados actualmente poderão sê-lo no futuro, o que poderá trazer outros problemas. A opção deverá ser sempre tender a utilizar recursos cuja exploração não conduza a impactes colaterais e que, preferencialmente, sejam cada vez mais os facilmente renováveis.

Mesmo os recursos que há poucos anos se podiam chamar de renováveis, com a excessiva exploração pelo homem tendem a não conseguir uma taxa de renovação igual à de exploração. Os problemas relacionados com as madeiras tropicais são bem conhecidos, nomeadamente com o desaparecimento duma grande área da floresta amazónica e das florestas de África. Mesmo na Europa, onde a floresta normalmente tem um ciclo de renovação igual ao de exploração, há muitos anos que a área de floresta vem diminuindo ou está ameaçada. O mais grave deste fenómeno é que as condições propícias ao desenvolvimento

biológico estão a ser modificadas rapidamente, como resultado dos efeitos ambientais das chuvas ácidas e do buraco da camada de Ozono, com as consequentes alterações climáticas.

A redução do uso de matérias-primas no processo de produção pode ser conseguida de diversas formas, nomeadamente:

- Aumentar a exploração de matérias-primas em pequena escala. Mesmo se as tecnologias de exploração modernas são concebidas para explorações de grande dimensão, existem certas áreas que desenvolveram tecnologias de exploração de pequena escala, tal como a extracção de alguns minérios;
- Incrementar a atenção sobre os recursos não utilizados. Recursos classificados de “economicamente inviáveis” e não utilizados poderão ser reavaliados, por exemplo a utilização de terra compactada como material de construção;
- Incrementar a atenção sobre os resíduos. Certos tipos de resíduos industriais e agrícolas poderão eventualmente ser utilizados;
- Aumentar a utilização dos recursos renováveis. Muitos componentes construtivos feitos com matérias-primas minerais têm alternativas orgânicas em alguns tipos de edifícios, por exemplo madeira em vez de aço, que normalmente apresentam um menor impacte ambiental;
- Aumentar a reciclagem dos produtos residuais de produção. Existem muitos resíduos que são vertidos em aterro e que poderiam ter reutilização em construção.

A redução do uso de recursos materiais no processo construtivo pode ser conseguida de diversas formas, entre as quais:

- Construir com um uso económico dos materiais;
- Minimizar perdas e resíduos de materiais em obra;
- Usar materiais de modo a garantir a sua durabilidade;
- Maximizar a reutilização e a reciclagem de materiais de demolição.

Certos danos ambientais são devidos à exploração de muitos dos recursos de matérias-primas, nomeadamente minerais e agregados. As pedreiras e minas a céu aberto, bem como a extracção de areias, produzem impactes visuais na paisagem, bem como destroem o ecossistema e poluem as águas do solo.

A concentração percentual de produtos poluentes nos resíduos resultantes da demolição de edifícios é relativamente reduzida, no entanto, como a quantidade de resíduos produzida é muito elevada, esta poderá constituir uma percentagem importante de toda a poluição ambiental.

Actualmente, os resíduos de construção em Portugal (maioritariamente betão e tijolo) não são regra geral tratados ou objecto de selecção para posterior reciclagem, servindo numa grande parte das vezes apenas de inerte para cobrimento de aterros sanitários de resíduos urbanos ou industriais.



Dependendo do risco ambiental dos materiais a depositar, os aterros devem assegurar que não existe contaminação das águas, quando os constituintes dos materiais são conduzidos pelas chuvas através dos solos por canais de água subterrâneos ou superficiais. Os materiais mais perigosos são aqueles que contêm metais pesados e outros contaminantes e também plásticos não biodegradáveis.

Existe uma relação evidente entre a ocorrência natural dum material e o seu potencial dano ambiental. Se a quantidade duma determinada substância é reduzida ou aumentada no ambiente (no ar, solo, água ou organismos), pode considerar-se que aumenta o risco de causar efeitos ambientais negativos. A Tabela 2.2.9 mostra a ocorrência natural de certos elementos na crosta terrestre (Berge 1999).

**Tabela 2.2.9.** Ocorrência natural dos elementos na parte acessível da crosta terrestre

Quantidade (g/ton)	Elementos
Maior do que 100.000	O, Si
100.000 a 10.000	Al, Fe, Ca, Na, K, Mg
10.000 a 1000	H, Ti, P
1.000 a 100	Mn, F, Ba, Sr, S, C, Zr, V, Cl, Cr
100 a 10	Rb, Ni, Zn, Ce, Cu, Y, La, Nd, Co, Sc, Li, N, Nb, Ga, Pb
10 a 1	B, Pr, Th, Sm, Gd, Yb, Cs, Dy, Hf, Be, Er, Br, Sn, Ta, As, U, Ge, Mo, W, Eu, Ho
1 a 0,1	Tb, I, Tm, Lu, Tl, Cd, Sb, Bi, In
0,1 a 0,01	Hg, Ag, Se, Ru, Pd, Te, Pt
0,01 a 0,001	Rh, Os, Au, Re, Ir

Fonte: (Berge 1999)

### 2.2.3. Influência das emissões poluentes dos materiais no ambiente interior

A poluição do processo construtivo, do edifício já construído e da demolição e aterro, consiste em emissões, poeiras e radiação libertados pelos materiais expostos a actividade química ou física, tais como o calor, a compressão ou o desgaste.

Nos edifícios em utilização as emissões são reduzidas, no entanto existem vários materiais e acabamentos que emitem gases e poeiras que, mesmo em pequenas quantidades, podem conduzir a problemas de saúde para os habitantes e utilizadores devido ao tempo de exposição, a uma deficiente ventilação, ou à reacção química ou biológica com outros componentes.

Alguns materiais podem emitir pequenas quantidades de radioactividade, por exemplo de radão no caso do granito (Berge 1999).

Um fenómeno inverso também pode ter lugar, pois certos materiais podem servir como “purificadores” do ambiente interior, tal como a madeira não tratada e outros materiais vegetais pouco transformados, que têm a propriedade de absorver dióxido de carbono.

As propriedades electrostáticas dos diferentes materiais também têm influência no conforto interior e mesmo no aspecto exterior dos edifícios. Superfícies com uma grande carga eléctrica negativa

podem criar uma carga electrostática e atrair poeiras. Metais condutores eléctricos podem incrementar os campos magnéticos existentes (Berge 1999). Na radiação electromagnética está incluída a radioactividade e a radiação a baixas frequências, que podem afectar os seres vivos.

#### **2.2.4. Influência da poluição na durabilidade dos materiais de construção**

A poluição não tem efeitos nocivos apenas nos seres vivos, já que também os edifícios e os materiais que o compõem podem ser afectados, especialmente pela poluição atmosférica. Por exemplo quando um material oxida, forma um composto químico com oxigénio. Em muitos edifícios é uma patologia comum nos elementos metálicos, um processo electrolítico chamado vulgarmente de ferrugem e, em estados mais graves, de corrosão. Para evitar este processo, vários metais necessitam de protecção. Por exemplo o Ferro necessita um tratamento especial como a zincagem ou a galvanização, além de posteriores pinturas periódicas. Mesmo o alumínio, um metal com menor corrosão, necessita normalmente de uma anodização ou de lacagem. Mesmo metais com maior resistência à corrosão ou previamente tratados, poderão estar sujeitos a esta, quando certas circunstâncias se verificam. Tal é o caso da proximidade do mar, já que o sal incrementa o processo de oxidação, ou dos locais onde existe uma incidência maior de poluentes, por exemplo de dióxido de enxofre (Berge 1999).

#### **2.2.5. Redução das perdas em obra**

As perdas em obra constituem aproximadamente 10% das perdas totais da indústria da construção (Berge 1999). Cada material tem um coeficiente de perda que descreve o desperdício durante a armazenagem, transporte e instalação do produto final. Para muitos materiais, o incremento da pré-fabricação faz decrescer este factor, assim como a standardização dos produtos e a concepção dos edifícios tendo estes factores em conta.

Na indústria da construção, uma grande quantidade de embalagens é utilizado no transporte e armazenagem dos produtos. Um aspecto importante das embalagens deverá ser a sua fácil reciclagem ou mesmo reutilização.

#### **2.2.6. Aumento da durabilidade**

Do ponto de vista dos recursos materiais, existe sempre uma clara vantagem em utilizar os materiais mais duráveis e permitir aos edifícios o maior tempo de vida útil possível (Berge 1999). Duma forma simplificada pode dizer-se que, será tolerável o dobro dos impactes ambientais num produto que dure 50 anos, comparado com um produto que dure 25 anos.

A utilização de materiais duráveis permite a redução das matérias-primas utilizadas, desde que se assegure durabilidades iguais a todos os componentes de um mesmo sistema construtivo, de maneira a não comprometer os materiais de maior durabilidade pela existência dos de menor durabilidade. Se for inviável a utilização de materiais de durabilidade igual, pelo tipo de material, então a substituição dos materiais menos duráveis deverá ser fácil.

O tempo de vida útil depende de três factores:

- O material em si, pela sua estrutura física e composição química;
- A construção e a sua execução, onde e como o material é colocado no edifício;
- O ambiente local, o clima e outras condições físicas e químicas;
- A manutenção e gestão.

A melhor forma de prever a vida útil dum material é através de ensaios tabelados que apresentem resultados experimentais de situações reais, de preferência referenciadas ao clima do local onde este se vai utilizar. Para novos materiais, como os plásticos, a avaliação torna-se mais complexa, já que a previsão neste caso não se pode basear em ensaios de durabilidade reais. Nestes casos apenas se pode simular o envelhecimento com ensaios de envelhecimento acelerado feitos em laboratório, o que nem sempre poderá corresponder à durabilidade em condições reais.

As condições climáticas são factores determinantes na durabilidade dos materiais, nomeadamente:

- **Radiação solar:** a radiação ultra-violeta deteriora alguns materiais, sendo superior em zonas próximo dos trópicos;
- **Temperatura:** as temperaturas elevadas em combinação com as radiações, o oxigénio e a humidade, aceleram a deterioração dos materiais orgânicos. As baixas temperaturas provocam igualmente a deterioração de alguns materiais, tal como a borracha e alguns plásticos. Os ciclos de gelo e degelo são um factor decisivo para a degradação do tijolo poroso, com pouca cozedura;
- **Pressão atmosférica:** a pressão do ar afecta o volume e a tensão nos materiais. Tal fenómeno afecta a durabilidade de materiais que têm uma estrutura frágil, tais como algumas espumas plásticas, ou a estanquidade das caixilharias;
- **Humidade:** o aumento de humidade relativa afecta a durabilidade dos materiais orgânicos, causando diferenças de volume e também condensações na superfície dos mesmos, bem como afectando a capacidade de isolamento de alguns materiais;
- **Vento e chuva:** a conjugação dos dois fenómenos pode acelerar a entrada da humidade no interior de alguns materiais e acelerar o processo de degradação. O vento forte pode causar inclusivamente fissuras e mesmo o colapso dos materiais comprometendo a durabilidade duma forma repentina;
- **Ataques químicos:** em zonas marítimas, o conteúdo de sal no ar pode corroer metais, plásticos e certos minerais. Em zonas

industriais e urbanas, os poluentes libertados pelas indústrias e veículos atacam grande parte dos materiais de construção, incluindo o betão e a pedra.

Deve-se também ter em conta que a durabilidade não é apenas um parâmetro quantificável em termos de propriedades físicas e químicas, mas tem também associada a questão estética e a questão da moda, que podem igualmente não deixar que um produto se siga utilizando, mesmo quando ainda se encontra em bom estado de desempenho físico-químico.

Outro aspecto tem também a ver com os gastos de manutenção e o conforto que, para alguns materiais, podem não permitir que a sua utilização continue a ser viável sob o ponto de vista da economia de recursos energéticos.

### 2.2.7. Reciclagem

Pela reciclagem de produtos, em vez do seu fabrico a partir de matérias-primas naturais podem reduzir-se substancialmente os seus impactes ambientais. Um produto que possa ser facilmente reciclável tem muitas vezes vantagem sobre um produto com menor custo ambiental inicial mas que não possa ser reciclado.

Na área da construção, alguns produtos utilizados têm pouca durabilidade e baixo potencial de reciclagem, mas, o que é igualmente grave, existem produtos com grandes potencialidades de reciclagem que não são usualmente reciclados.

O processo de reciclagem deverá preferencialmente ser desenvolvido para que os materiais possam ser repostos no seu nível de qualidade inicial e não num nível inferior - "downcycled" (Berge 1999).

Na Tabela 2.2.10 podem ver-se alguns exemplos de materiais e a percentagem de energia potencialmente economizada pela sua reciclagem.

**Tabela 2.2.10.** Energia potencialmente economizada pela utilização de materiais reciclados

	Energia economizada pela utilização de materiais reciclados (percentagem)
Alumínio	95
Plástico	88
Vidro	5
Papel de jornal	34

Fonte: Roberta Forsell Stauffer in Resource Recycling, January / February, 1989

Em Portugal e no Sul da Europa em geral, a crescente complexidade dos sistemas construtivos, impede cada vez mais a reciclagem, ao contrário do que seria de esperar. Curiosamente, os edifícios com mais de 50 anos, são mais facilmente recicláveis, além de terem um impacte ambiental inicial muito mais baixo, pois nestes os sistemas construtivos eram mais simples, normalmente com paredes de pedra justapostas, estrutura de piso e cobertura em madeira, acabamento do piso em madeira e telha na cobertura. Mesmo no Norte da Europa, mais sensível aos aspectos

ambientais, este fenómeno é uma realidade. Existem já alguns exemplos de demolição selectiva de edifícios, onde um nível de reciclagem de 90% foi conseguido. No entanto estes eram edifícios antigos, com utilização de poucos materiais e bem diferenciáveis. Segundo Berge, é duvidoso que o nível de reciclagem possa atingir sequer os 70%, em edifícios de construção recente (Berge 1999). Tal facto deve-se essencialmente à grande utilização de elementos compósitos, com materiais agregados. Por exemplo no betão armado, onde o conteúdo de aço pode chegar aos 20%, a reciclagem do metal é um processo relativamente complexo, pela necessidade de separação dos dois elementos, podendo assim resultar economicamente inviável.

A reciclagem pode ser hierarquicamente classificada em três níveis, por ordem decrescente de eficácia:

- Reutilização;
- Reciclagem;
- Extracção energética

A reutilização dos materiais depois da demolição deverá também ser tida em conta. A reutilização depende da duração útil do componente e refere-se à utilização deste com a mesma função. Uma reutilização eficaz dos componentes construtivos exige produtos simples e standardizados, o que quase nunca se verifica em obra. No entanto, a reutilização de materiais já foi uma prática construtiva bastante comum. Em áreas costeiras, alguns edifícios eram construídos recorrendo a materiais recuperados de embarcações desmanteladas. A construção pré-fabricada em madeira é assim um exemplo de construção com um elevado potencial de reutilização.

A maior ou menor potencialidade de reciclagem depende essencialmente da pureza do material. Os compósitos e os materiais aderidos não são normalmente recicláveis, ainda que possam ser reutilizáveis ou deles se possa extrair energia por combustão.

A reciclagem é feita através do esmagamento ou trituração dos componentes, que assim entram novamente no processo de fabrico. Este é um método eficiente no caso dos metais ou no caso do vidro.

A reciclagem sistemática de sucata de ferro é o método mais viável de obter aço. É igualmente possível usar metais alternativos em muitas das ligas existentes, excepto para o crómio, imprescindível para a obtenção do aço inoxidável (Berge 1999).

Os materiais metálicos corroem-se. Cerca de 16 a 20% de todo o conteúdo em ferro acaba por desaparecer efectivamente. A corrosão química ocorre principalmente na presença de água e de oxigénio, pelo processo de oxidação. O cobre, o alumínio e o crómio são relativamente resistentes à corrosão. Os metais são igualmente atacados por ácidos; ácido carbónico resultante da reacção do dióxido de carbono e água, e ácido sulfúrico resultante da reacção do dióxido de enxofre e água. O ferro, o alumínio e o

magnésio são os metais normalmente mais afectados. Os materiais alcalinos, como a cal e mesmo o cimento, também podem atacar os metais, particularmente o alumínio, o zinco e o chumbo. A corrosão eléctrica pode ocorrer com certas combinações de metais (Berge 1999).

A tecnologia para a fusão dos metais é relativamente simples. Todos os metais e ligas metálicas utilizadas na indústria da construção podem ser fundidos e reciclados. O metal pode ser acrescentado no processo de fabrico do novo material em percentagens que podem ir dos 10 aos 100%, dependendo do fim a que se destinam e da exigência de qualidade. As ligas de aço e alumínio apenas podem ser utilizadas em ligas similares, enquanto o cobre, o níquel e o estanho podem ser totalmente separados das ligas onde são componentes maioritários. O cobre, por exemplo, pode ser removido do latão através dum processo electrolítico (Berge 1999). Estes processos são muito mais complexos que a simples fusão, sendo muito mais caros, pelo que muitas vezes se tornam inviáveis.

A reutilização de metais é a forma mais eficaz de reciclagem, já que o consumo energético apenas se reflecte na montagem e transporte do material. As estruturas em aço, fixas mecanicamente são fáceis de remover e reaproveitar, já que as peças são standardizadas. No caso das ferragens e caixilharias, também se pode fazer o reaproveitamento destas, se não tiverem sido irremediavelmente danificadas pela utilização ou corrosão.

Nalgumas situações, os metais podem ser substituídos por outros materiais, como madeira no caso de estruturas e contraplacados em revestimentos exteriores. No entanto, para alguns tipos de utilização são praticamente insubstituíveis, sendo o exemplo mais flagrante o caso das ferragens (dobradiças, fechaduras, puxadores, parafusos, peças de união, etc.).

Alguns resíduos da indústria metalúrgica podem ser reaproveitados nesta ou noutras indústrias. Tal é o caso da indústria de cimento que aproveita resíduos resultantes do processo de fabrico do aço, usados como pozolana (Berge 1999).

Certos produtos anunciados teoricamente como recicláveis, podem não o ser na prática. Por exemplo o gasto energético e mesmo o custo necessários para triturar e derreter algumas substâncias pode ser superior à sua produção a partir das matérias-primas naturais, tornando estes produtos mais caros e mesmo ambientalmente desfavoráveis.

A extracção energética significa queimar os produtos de forma a produzir energia. Pode ser vantajoso se essa energia puder ser extraída num local próximo ao edifício a demolir ou recuperar e se o tipo de gás de combustão produzido não for demasiado poluente.

## 2.2.8. Construir tendo em vista a desconstrução

No conceito de reciclagem em construção, construir tendo em vista um futuro cenário de desconstrução é um factor importante. Com este conceito, os diferentes componentes podem ser facilmente separados durante a demolição, separando os componentes de cada tipo para reutilização, mas igualmente facilitando a reciclagem e a extracção energética (Berge 1999).

Vários factores permitem levar a bom termo um projecto de edifício preparado para a desconstrução, entre os quais:

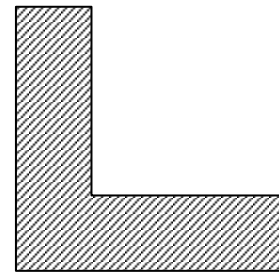
- Utilização de sistemas totalmente separados;
- Possibilidade de separar os componentes em cada sistema;
- Utilizar materiais standardizados e homogéneos.

### 2.2.8.1. Sistemas separados

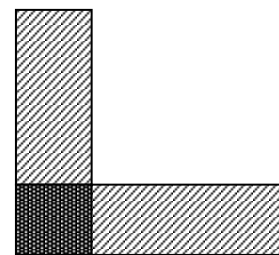
Um edifício é composto de vários componentes construtivos, formando sistemas (estrutura, fachadas, instalações, divisórias, mobiliário, etc.). O sistema estrutural tem de durar todo o tempo de vida útil do edifício, enquanto por exemplo as divisórias interiores são muitas vezes reorganizadas em curtos períodos de tempo, por questões funcionais ou mesmo de moda.

Em Portugal, nos edifícios contemporâneos de construção convencional, os diferentes sistemas são quase sempre aglomerados, formando uma unidade indissociável, o que provoca que os componentes com ciclos de vida pequenos podem condicionar os componentes com ciclos de vida mais longos, o que é pouco recomendável quando o componente de menor durabilidade é por exemplo a estrutura. Torna-se comum, por exemplo, demolir edifícios onde as instalações estão integradas na estrutura do edifício e se tornam difíceis de manter ou substituir (Berge 1999). Um princípio fundamental para a eficiente reutilização de todo o edifício e dos componentes será a diferenciação dos sistemas. Na Figura 2.2.4 apresentam-se exemplos de três tipos de ligação entre parede e estrutura, sendo apresentada na imagem (a) a ligação entre paredes e estrutura, que era a situação comum na construção até há cerca de 50 anos, na imagem (b) a situação comum actualmente, que diz respeito às paredes de alvenaria de tijolo e estrutura em betão armado e na imagem (c) a situação em sistemas separados, cujos materiais podem ser da mesma qualidade ou não, mas sempre facilmente separáveis.

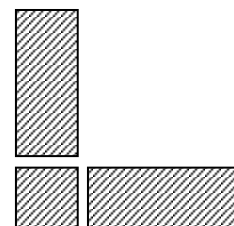
Os sistemas deste tipo consistem basicamente em planos soltos preparados para serem encaixados entre si durante a montagem, sendo vulgarmente conhecidos por prefabricados. Os prefabricados ligeiros de montar têm como principal vantagem o facto de serem transportados num volume e peso de carga pequeno, o que os torna potencialmente mais fáceis de deslocar por grandes distâncias. Em locais de acesso difícil a transportes de grandes dimensões, são também uma solução construtiva economicamente mais viável do que a convencional. São muito comuns nos Estados Unidos, mas também existem na Europa, e são comercializados por empresas que normalmente se responsabilizam pela sua concepção e montagem. O material



a) Qualidade similar e ligação permanente

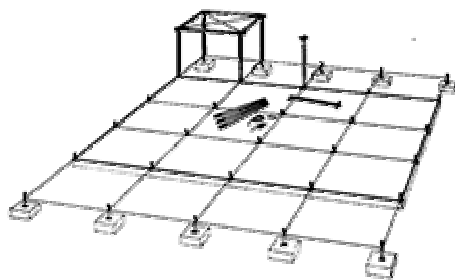


b) Estrutura de melhor qualidade e ligação permanente



c) Qualidade similar ou diferenciada mas fácil separação

**Figura 2.2.4.** Sistemas de Conexão entre estrutura e paredes de fachada



mais utilizado é a madeira, se bem que as chapas metálicas e as membranas poliméricas também se apresentem como opções viáveis, quando utilizados em painéis, normalmente com estruturas metálicas de alumínio. Um exemplo duma construção prefabricada desmontável é a "Yacht House" (Figura 2.2.5), projectada por Richard Horden (Horden 1995).

#### 2.2.8.2. Possibilidade de separar os componentes em cada sistema

Os componentes de cada sistema deverão igualmente poder ser facilmente separados em unidades de fácil manuseamento. Sobre o ponto de vista ambiental, a reciclagem torna-se muito mais fácil, nomeadamente pela separação diferenciada dos diversos tipos de materiais presentes. A separação permite uma fácil substituição dos elementos com maior desgaste, uma fácil reposição dos mesmos após reparação, ou mesmo eventual reutilização destes em áreas de menor exposição visual por troca com os de menor desgaste. Permite igualmente o fácil transporte dos componentes dentro do próprio edifício e fora deste.

#### 2.2.8.3. Materiais standardizados e homogéneos

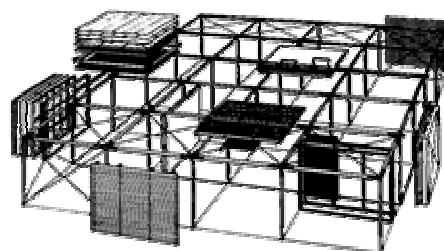
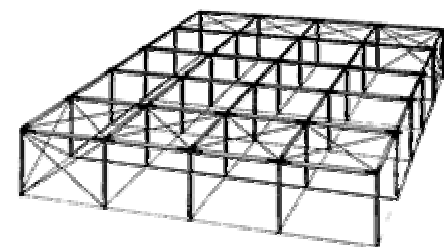
Muitos componentes construtivos são compostos de diferentes monomateriais conjugados num novo material com propriedades distintas, normalmente chamado de material compósito.

A reutilização ou mesmo a reciclagem dos materiais compósitos é muitas vezes impossível. Por outro lado, os diferentes graus de durabilidade dos materiais presentes dentro do mesmo componente podem resultar em que um dos materiais pode chegar à perda das suas propriedades, enquanto outro continua válido, mas deixa de ser possível utilizar todo o componente por essa razão (Berge 1999).

A utilização exclusiva de monomateriais, por exemplo madeira natural num pavimento ou pedra numa parede, permite posteriores reutilizações, cumprindo o mesmo fim, coisa que não é possível com a utilização da maior parte dos compósitos. Por exemplo, entre um revestimento exterior em chapa ondulada e um revestimento em painel sandwich de compósito plástico, este último dificilmente será reutilizado e a reciclagem será quase impossível, enquanto no primeiro caso qualquer uma das hipóteses é viável.

### 2.2.9. Economia da construção

A economia estuda, propõe e desenvolve instrumentos e técnicas de análise e resolução de problemas acerca da utilização dos recursos disponíveis. O seu objectivo central é gerir a escassez de recursos, o que implica a tomada de decisões, exigindo instrumentos, técnicas e conceitos que as suportem adequadamente da forma mais eficaz. Também uma indústria da construção que depende cada vez mais da competitividade não pode deixar de assentar sobre estes pressupostos. Os aspectos económicos que mais importa a este estudo não têm propriamente a ver com as leis de mercado, apesar dos custos dos



**Figura 2.2.5.** Casa pré-fabricada "Yacht House" (Horden 1995)



materiais serem sempre uma das principais preocupações para os promotores.

A economia da construção não deverá apenas assentar na redução dos custos económicos, ainda que estes sejam geralmente a preocupação central na lógica de mercado actual, mas enquadrar esta redução numa lógica mais global que sirva também à redução dos custos ambientais. Uma indústria da construção em que a inevitável perspectiva económica seja integrada com preocupações ambientais pode ser implementada através de estratégias políticas, mas também pode depender, numa quota-parte importante, de quem projecta e tem de tomar decisões sobre materiais e soluções construtivas.

Na maior parte das vezes, os custos económicos não se conseguem analisar numa forma linear. Cada sistema construtivo tem uma utilização específica de materiais e isso vai reflectir-se no custo económico, pelo que não basta actuar sobre o custo na altura de ir comprar os materiais e escolher entre diversas marcas e tipos, mas sim na fase de concepção. A diferença entre sistemas pode ser significativa. Por exemplo, uma viga treliça poderá ter um peso inferior a uma viga maciça, com uma capacidade resistente igual (Berge 1999). Desta forma poderão ser reduzidos os custos, não apenas dos materiais, mas dos métodos construtivos. As diversas soluções de fachada serão analisadas sob o ponto de vista dos custos económicos, nos Capítulos IV e VI, bem como no Anexo 5.

Também importa, para uma análise de custos global de um edifício, a optimização da sua funcionalidade em termos arquitectónicos, através duma distribuição racional das áreas, não desperdiçando áreas excessivas com circulações, paredes inutilmente espessas e zonas técnicas desnecessárias.

Um outro aspecto essencial no desempenho económico-ambiental de elementos de fachada exteriores é a eficácia relativa do seu desempenho higratérmico. Este tipo de análise tem geralmente a ver com o incremento de isolamento nos componentes da construção da envolvente exterior. Um dos modelos económicos que melhor se enquadra nesse estudo é o de Robinson. Este modelo propõe que o custo de todos os elementos de isolamento devem igualar o custo presente de toda a energia necessária para aquecimento (incluindo sistemas de ganho solar) para o mínimo custo de ciclo de vida num determinado período de amortização. Para a previsão da espessura óptima de isolamento a colocar num edifício através do modelo de Robinson, pode ser utilizada a seguinte expressão (Sherwood 1989):

$$(B'_i + B'_c) - wE^i N = \sum_j \left( A_j \frac{f_c R'_j}{R_j (R_j + R'_j)} \Delta t_j \right) T \frac{de}{\eta} N \quad (2.2.1)$$

Onde;

$B'_i$  : Incremento de custo em material para isolamento [€] ;

$B'_c$  : Incremento de custo em trabalhos para colocação do isolamento [€] ;

$w$  : Factor adimensional relacionando poupança versus custo energético;

### Breve História da Economia

Adam Smith publicou a Riqueza das Nações em 1776, na qual avançava com o princípio da mão invisível subjacente ao mecanismo de funcionamento dos mercados e dá origem à ciência da economia. Um século depois, Karl Marx critica o capitalismo dos economistas clássicos no Capital e proclama o adir de uma revolução operária e a implosão do capitalismo, sucumbindo às pressões sociais que gerara. O final do séc. XIX e o início do séc. XX confirmariam as profecias de Marx e as economias socialistas e comunistas aplicariam um modelo que perdurou durante muitos anos. As próprias economias ocidentais só mantiveram o capitalismo por que o socializaram, aumentando o poder estatal sobre a economia – foi a contribuição de Keynes que em 1936 publicou a "Teoria Geral sobre o Emprego, o Juro e o Dinheiro". Nos anos 80 os princípios de Adam Smith foram redescobertos e a primazia do mercado sobre a intervenção estatal deu nova reviravolta, após os choques na oferta da década de 70 e a pressão da procura na década de 80. Eram os Neoclássicos. Para esta evolução histórica estar mais completa haveria ainda que referir os Monetaristas que desenvolveram os aspectos financeiros sobre a moeda na Teoria Económica e que emergiram na segunda metade do século XX quando o modelo Keynesiano já apresentava algumas dificuldades explicativas. Uma última nota para Schumpeter que desenvolveu de forma radical os conceitos de inovação ao nível da teoria económica (Tereso 2003).

**Tabela 2.2.11.** Rendimento médio dos equipamentos mecânicos de aquecimento (Institut Cerdà 1999)

EQUIPAMENTOS INDIVIDUAIS ELÉTRICOS	
<b>Aquecimento directo – sistemas unitários</b>	
- Convectores	1
- Radiadores	1
<b>Aquecimento directo – sistemas individuais</b>	
- Piso radiante	0,97
- Parede radiante	0,97
- Bomba de calor	2,70
<b>Aquecimento por acumulação</b>	
- Acumuladores estáticos	0,97
- Acumuladores dinâmicos	0,97
- Parede radiante por acumulação	0,90
<b>Água quente sanitária</b>	
- Termo-acumuladores	0,88
- Esquentadores instantâneos	0,95
- Caldeiras eléctricas	0,88
- Bomba de calor	2,50

EQUIPAMENTOS COLECTIVOS ELÉTRICOS	
<b>Aquecimento</b>	
- Caldeira de acumulação	0,84
- Bomba de calor	2,50
<b>Água quente sanitária</b>	
- Caldeira de acumulação	0,84
- Bomba de calor	2,35

EQUIPAMENTOS INDIVIDUAIS A GÁS	
<b>Aquecimento – sistemas unitários</b>	
- Convectores murais	0,80
<b>Aquecimento – sistemas individuais</b>	
- Caldeira c/ queimador atmosférico	0,79
- Caldeira de elevada eficiência	0,85
- Caldeira de condensação	0,93
- Geradores de ar	0,71
<b>Água quente sanitária</b>	
- Esquentadores instantâneos	0,76
- Esquentador com acumulador	0,68
- Esquentador misto	0,76

EQUIPAMENTOS COLECTIVOS A GÁS	
<b>Aquecimento</b>	
- Caldeira c/ queimador atmosférico	0,79
- Caldeira c/ queimador ar forçado	0,81
- Caldeira de recuperação	0,85
- Caldeira de condensação	0,90
- Bomba de calor com recuperação	1,44
- Bomba de calor sem recuperação	1,26
- Máquina de absorção	0,90
<b>Água quente sanitária</b>	
- Caldeira c/ queimador atmosférico	0,70
- Caldeira c/ queimador ar forçado	0,71
- Caldeira de recuperação	0,75
- Caldeira de condensação	0,84
- Bomba de calor	> 1,70

EQUIPAMENTOS A GÁSÓLEO	
<b>Aquecimento</b>	
- Aplicações individuais	0,81
- Aplicações colectivas	0,79
<b>Água quente sanitária</b>	
- Aplicações individuais	0,75
- Aplicações colectivas	0,74

$E'$  : Incremento anual previsto do custo energético [€/ano];

$N$  : Período de amortização, em anos (50);

$A_j$  : Área Transferência de calor pela envolvente [ $m^2$ ] - Pés<sup>2</sup>;

$f_c$  : Factor de concentração de perdas;

$R_j$  : Resistência térmica inicial do elemento  $j$  [ $m^2 \cdot ^\circ C/W$ ] - h.pés<sup>2</sup>·°F/btu;

$R'_j$  : Incremento de isolamento no elemento  $j$  [ $m^2 \cdot ^\circ C/W$ ] - h.pés<sup>2</sup>·°F/btu;

$\Delta t_j$  : Média do gradiente entre a temperatura exterior e interior no período em estudo [ $^\circ C$ ] -  $^\circ F$ ;

$T$  : Duração da estação de aquecimento (h/ano);

$de$  : Custo energético actual [€/W] - €/btu;

$\eta$  : Rendimento global das instalações mecânicas de aquecimento utilizadas.

O rendimento global das instalações mecânicas, designado por  $\eta$ , destinadas ao aquecimento ambiente ou de águas sanitárias é dado pela relação entre as necessidades térmicas que satisfazem e a energia disponível nos combustíveis utilizados. Este rendimento é o produto do rendimento da geração, do rendimento da distribuição e do rendimento da regulação, dado pela seguinte expressão:

$$\eta = \eta_g \times \eta_d \times \eta_r \quad (2.2.2)$$

Na Tabela 2.2.11 (coluna da esquerda) apresenta-se o rendimento global médio -  $\eta$  - dos sistemas mecânicos de aquecimento mais comuns.

Pode assim concluir-se que a redução de custos económicos deve ser ponderada durante a produção dos materiais, no transporte, no projecto, durante o processo de construção, no decorrer da utilização do edifício e na demolição ou recuperação deste, tendo repercussões em todo o ciclo de vida do edifício e dos seus componentes.

### 2.2.10. Recursos disponíveis

Os recursos disponíveis podem ser classificados como renováveis e não renováveis. Preferencialmente deverá optar-se pelos renováveis, sempre que estes possam cumprir a função que se pretende. Por exemplo em termos de isolamento, a utilização de cortiça ou fibra de vidro é preferível à utilização de espumas plásticas. Sempre que for necessária massa de armazenamento térmico e também para possibilitar o incremento do isolamento acústico em função da lei da massa, é difícil e pouco viável optar por recursos renováveis como a madeira. Neste caso será preferível optar por recursos muito abundantes ou reutilizáveis, por exemplo a terra crua ou a pedra, conforme as zonas e a disponibilidade local. Estes são recursos que apenas se transferem de lugar, com pouca transformação, durabilidade elevada e reutilizáveis num número quase ilimitado de ciclos. Ainda que se possa perder alguma qualidade, por exemplo na pedra, a sua reciclagem pode sempre ser feita em qualidade inferior, por exemplo passando de alvenaria a placas e posteriormente de placas a gravilha, inertes ou granulados de pedra.

Far-se-á de seguida referência à disponibilidade de alguns materiais em Portugal, em função da produção total e per capita, sendo estes valores resumidos na Tabela 2.2.12. O facto de se produzir muito não significa que haja muita disponibilidade de recursos, ou que se deva optar por estes materiais, pode no entanto concluir-se que é sempre preferível utilizar materiais com disponibilidade local, já que se poderá economizar em transporte e beneficiar igualmente a economia Portuguesa.

Alguns materiais de construção não foram estudados, por falta de dados disponíveis ou porque são abundantes em qualquer lugar. Por exemplo a terra argilosa, para a construção de adobe ou taipa, será sempre um material disponível e económico que se pode utilizar em termos de massa térmica. Esta é a mesma matéria-prima que se utiliza no fabrico do tijolo, mas o que se espera concluir deste trabalho é se o custo energético do seu fabrico o torna muito menos interessante sobre o ponto de vista ambiental do que a pedra ou o adobe, ainda que em termos económicos seja mais atractivo, bem como nalgumas questões do desempenho mecânico e durabilidade.

**Tabela 2.2.12.** Produção portuguesa per capita de alguns materiais de construção (por ordem decrescente)

	Produção (t)	População total (meio do ano)	Produção per capita (Kg/pessoa.ano)
4ºM - Pedra (2000)	45.785.000	10.012.197	4.572,9
3ºM - Cimento (1998)	9.500.000	9.928.000	956,8
11ºE - Madeira (1998)	5.556.200	9.928.000	559,6
1ºE - Tijolo (2000)	4.735.000	10.012.197	473,0
11ºM - Aço (1998)	854.800	9.928.000	86,1
1ºM - Cortiça (2000)	175.000	10.012.197	17,5
39ºM - Alumínio (1998)	16.000	9.928.000	1,6

### 2.2.10.1. Pedra

Portugal é um grande produtor de pedra a nível mundial, tendo sido no ano 2000, com uma produção de mais de 45 milhões de toneladas de pedra, o 12º maior produtor a nível mundial. Ainda maior é o nível de produção per capita, sendo que neste caso e igualmente para o ano 2000, Portugal ocupava o quarto lugar, apenas superado por Moçambique, os Estados Unidos e Israel, conforme se pode ver na Tabela 2.2.13. Será de realçar o facto da produção ter aumentado substancialmente neste ano em relação aos dois anos anteriores, tendo mesmo triplicado em relação a 1998, ano em que a produção foi de 15 milhões de toneladas.

**Tabela 2.2.13.** Produção mundial de pedra per capita (por ordem decrescente)

	Produção em 2000 (milhares de T)**	População total em 2000 (meio do ano)*	Produção de pedra per capita (T/pessoa)
1-Moçambique	410.000	19.614.000	20,90
2-EUA	1560.000	274.943.000	5,67
3-Israel	31.200	5.852.000	5,33
<b>4-Portugal</b>	<b>45.785</b>	<b>10.012.197</b>	<b>4,57</b>
5-Canadá	136.789	31.330.000	4,36
6-Itália	120.000	56.687.000	2,12
7-Coreia do Sul	77.626	47.351.000	1,64
8-Noruega	7.000	4.456.000	1,57
9-Reino Unido	86.000	57.927.000	1,48
10-Japão	185.569	126.434.000	1,47
11-Oman	3.537	2.533.000	1,39
12-Eslováquia	7.000	5.401.000	1,29
13-Qatar	900	750.000	1,20
14-Republica Checa	11.808	10.284.000	1,15
15-Alemanha	77.900	82.081.000	0,95
16-Polónia	29.801	38.644.000	0,77
17-México	58.267	102.027.000	0,57
18-São Salvador	3.200	5.925.000	0,54
19-Austrália	10.000	18.950.000	0,53
20-Hungria	5.000	10.167.000	0,49
21-Turquia	30.295	66.618.000	0,45
22-Uruguai	1.500	3.333.000	0,45
23-Venezuela	11.302	25.596.000	0,44
24-Costa Rica	1.600	3.744.000	0,43
25-Nova Zelândia	1.500	3.698.000	0,41
26-Egipto	27.000	68.495.000	0,39
27-Suécia	3.500	8.939.000	0,39
28-Colômbia	15.000	40.037.000	0,37
29-Africa do sul	15.881	43.982.000	0,36
30-Chile	5.395	14.995.000	0,36

Fonte: \* Realizado a partir dos dados da população mundial do U. S. Census Bureau

\*\* Realizado a partir dos dados da produção de minérios do U.S. Department of the Interior, U.S. Geological survey

### 2.2.10.2. Cimento

A produção mundial de cimento foi de 1,52 bilhões de toneladas em 1998. Nesse ano a produção de cimento em Portugal foi de 9,5 milhões de toneladas, tendo sido nesse ano o 26º maior produtor mundial de cimento (Global Cement Information System). Curiosamente, quando comparamos os trinta maiores produtores de cimento per capita, chegamos à conclusão que Portugal foi, no ano de 1998, o terceiro maior produtor de cimento a nível mundial, conforme se pode ver na Tabela 2.2.14.

**Tabela 2.2.14.** Produção de cimento per capita (por ordem decrescente)

	Produção em 1998 (t)**	População total em 1998 (melo do ano)*	Produção de cimento per capita (ton/pessoa)
1-Grécia	15.000.000	10.555.768	1,42
2-República da Coreia	46.791.000	46.535.375	1,01
<b>3-Portugal</b>	<b>9.500.000</b>	<b>9.928.000</b>	<b>0,96</b>
4-Taiwan	19.538.000	21.823.024	0,90
5-Coreia do Norte	17.000.000	21.454.900	0,79
6-Bélgica	8.000.000	10.202.662	0,78
7-Arábia Saudita	14.500.000	20.619.610	0,70
8-Espanha	27.943.000	39.906.235	0,70
9-Japão	81.328.000	126.246.096	0,64
10-Itália	35.000.000	57.550.318	0,61
11-Turquia	38.200.000	63.945.635	0,60
12-Tailândia	30.000.000	61.002.904	0,49
13-Alemanha	36.610.000	82.023.672	0,45
14-China	513.500.000	1.241.891.297	0,41
15-Canadá	12.064.000	30.628.924	0,39
16-Polónia	14.970.000	38.663.528	0,39
17-França	19.500.000	58.866.290	0,33
18-USA	85.522.000	276.115.288	0,31
19-México	27.744.000	97.244.587	0,29
20-Egipto	19.203.000	67.602.461	0,28
21-Iráo	17.000.000	64.487.166	0,26
22-Brazil	43.000.000	170.956.177	0,25
23-Colombia	9.190.000	38.339.351	0,24
24-África do Sul	9.500.000	41.658.077	0,23
25-Reino Unido	12.409.000	59.035.652	0,21
26-Rússia	26.000.000	146.964.110	0,18
27-Filipinas	13.338.000	76.576.177	0,17
28-Indonésia	22.000.000	216.677.631	0,10
29-Índia	85.000.000	970.750.461	0,09
30-Paquistão	8.901.000	135.471.351	0,07

Fonte: \* Realizado a partir dos dados da população mundial do U. S. Census Bureau

\*\* Global Cement Information System

### 2.2.10.3. Tijolo

A produção nacional de tijolos abrange fundamentalmente tijolos de furação horizontal (vazados ou furados), havendo ainda uma componente, embora reduzida, de tijolos de furação vertical (perfurados) e tijolos maciços.

Existem no nosso País boas reservas de matéria-prima, em termos de quantidade e de qualidade.

Esta indústria satisfaz praticamente as necessidades do mercado interno, apresentando também uma componente, embora muito reduzida, de exportações.

Com efeito, dada a natureza dos produtos fabricados, designadamente face ao custo que o seu transporte representa, o comércio internacional assume pouco significado neste segmento da cerâmica nacional.

O consumo português de tijolo no ano de 2000 foi de 5.499.000 T, o que corresponde à 1ª posição em termos de consumo per capita, como se pode ver na Tabela 2.2.16. Tem crescido nos últimos anos.

**Tabela 2.2.15.** Consumo Europeu de tijolo per capita (por ordem decrescente)

	Consumo em 2000 (T)**	População total em 2000 (meio do ano)*	Consumo de tijolo per capita (kg/pessoa)
<b>Portugal</b>	<b>4.735.000</b>	<b>10.012.197</b>	<b>473</b>
Hungria	4.031.000	9.968.000	404
Bélgica	3.183.000	10.249.000	311
Espanha	11.037.000	39.910.000	277
Itália	15.169.000	57.530.000	264
Áustria	1.755.000	8.080.000	217
Dinamarca	989.000	5.320.000	186
Holanda	2.607.000	15.864.000	164
Alemanha	11.339.000	82.017.000	138
Reino Unido	6.177.000	59.415.000	104
Suiça	588.000	7.170.000	82
França	2.976.000	59.238.000	50

Fonte: \* Realizado a partir dos dados da população mundial do U. S. Census Bureau

\*\* Realizado a partir dos dados da TBE – European Brick and Tile Manufacturers' Federation (Minoliti 2002)

#### 2.2.10.4. Aço

A produção mundial de aço em 1998 foi de 770 milhões de toneladas. A produção portuguesa no mesmo ano foi de 854.000 T, o que corresponde a uma percentagem de 0,11% do total da produção a nível mundial e à 49ª posição como produtor em 1998. Em produção per capita ocupava a 44ª posição nesse mesmo ano, como se pode ver na Tabela 2.2.15. Tem no entanto decrescido nos últimos anos.

**Tabela 2.2.16.** Produção mundial de aço para betão armado per capita (por ordem decrescente)

	Produção em 1998 (milhares de T)**	População total em 1998 (melo do ano)*	Produção de aço per capita (ton/pessoa)
1-Luxemburgo	2.592	425.000	6,099
2-Bélgica	11.427	10.175.000	1,123
3-Coreia do Sul	39.896	46.417.000	0,860
4-Taiwan	17.192	21.908.000	0,785
5-Finlândia	3.932	5.149.000	0,764
6-Japão	93.548	126.000.000	0,743
7-Austria	5.298	8.134.000	0,651
8-Eslováquia	3.428	5.393.000	0,636
9-República Checa	6.498	10.286.000	0,632
10-Suécia	5.062	8.887.000	0,569
11-Alemanha	44.046	82.079.000	0,537
12-Canadá	15.930	30.675.000	0,519
13-Austrália	8.798	18.613.000	0,473
14-Ucrânia	23.461	50.125.000	0,468
15-Itália	25.798	56.783.000	0,454
16-Holanda	6.379	15.731.000	0,405
17-Espanha	14.827	39.134.000	0,379
18-EUA	98.600	270.312.000	0,365
19-França	20.126	58.805.000	0,342
20-Rússia	43.822	146.861.000	0,298
21-Reino Unido	17.066	57.721.000	0,295
22-Roménia	6.335	22.396.000	0,283
23-Bulgária	2.216	8.240.000	0,269
24-Polónia	9.915	38.607.000	0,257
25-Nova Zelândia	756	3.625.000	0,208
26-Turquia	13.351	64.567.000	0,207
27-Cazaquistão	3.089	16.847.000	0,183
28-Hungria	1.821	10.208.000	0,178
29-Africa do Sul	7.506	42.835.000	0,175
<b>44-Portugal</b>	<b>854</b>	<b>9.928.000</b>	<b>0,086</b>

Fonte: \* Realizado a partir dos dados da população mundial do U. S. Census Bureau

\*\* U.S. Department of the Interior, U.S. Geological survey

### 2.2.10.5. Alumínio

O alumínio é normalmente extraído do minério bauxite, que se encontra normalmente nas florestas equatoriais, em grande parte da América do Sul e África. A extracção é feita em minas abertas, onde previamente se limpa toda a vegetação, causando irreparáveis danos aos ecossistemas.

A produção do alumínio requer um complexo processo tecnológico onde a electrólise é uma parte integrante. Como o investimento para a construção das unidades de fabrico é muito elevado, bem como o consumo energético e os países onde normalmente se encontram as reservas de bauxite são pobres e pouco industrializados, estes são normalmente forçados a exportar o minério. A produção de alumínio encontra-se actualmente na sua maior parte localizada nos Estados Unidos, no Canadá e Norte da Europa

Portugal é um pequeno produtor de alumínio a nível mundial, ocupando a 42ª posição com uma produção total em 1998 de 16.000T. O maior produtor mundial, os EUA tem uma produção de 3.713.000T. Em termos de produção per capita, Portugal ocupava a 39ª posição, com uma produção de 0,0016kg per capita, em 1998, como se pode ver na Tabela 2.2.17.

**Tabela 2.2.17.** Produção de alumínio per capita (por ordem decrescente)

	Produção em 1998 (T)**	População total em 1998 (melo do ano)*	Produção de alumínio per capita (kg/pessoa)
1-Bahrein	501.000	616.000	0,8133
2-Islândia	173.000	271.000	0,6384
3-Noruega	996.000	4.420.000	0,2253
4-Emiratos Árabes Unidos	352.000	2.303.000	0,1528
5-Nova Zelândia	318.000	2.385.000	0,1333
6-Austrália	1.627.000	18.613.000	0,0874
7-Canadá	2.374.000	30.675.000	0,0774
8-Suriname	29.000	428.000	0,0678
9-Nigéria	20.000	425.000	0,0471
10-Eslovénia	74.000	1.972.000	0,0375
11-Tajiquistão	196.000	6.020.000	0,0326
12-Venezuela	585.000	22.803.000	0,0257
13-Eslováquia	108.000	5.393.000	0,0200
14-Rússia	2.906.000	146.861.000	0,0198
15-Holanda	264.000	15.731.000	0,0168
16-Africa do Sul	677.000	42.835.000	0,0158
17-EUA	3.713.000	270.312.000	0,0137
18-Grécia	146.000	10.662.000	0,0137
19-Suécia	96.000	8.887.000	0,0108
20-Espanha	362.000	39.134.000	0,0093
21-Bósnia	28.000	3.366.000	0,0083
22-Roménia	174.000	22.396.000	0,0078
23-Alemanha	612.000	82.079.000	0,0075
24-França	424.000	58.805.000	0,0072
25-Brasil	1.208.000	169.807.000	0,0071
26-Sérvia e Montenegro	60.000	10.526.000	0,0057
27-Camarões	82.000	15.029.000	0,0055
28-Argentina	187.000	36.265.000	0,0052
29-Reino Unido	258.000	57.721.000	0,0045
30-Suiça	32.000	7.260.000	0,0044
<b>39-Portugal</b>	<b>16.000</b>	<b>9.928.000</b>	<b>0,0016</b>

Fonte: \* Realizado a partir dos dados da população mundial do U. S. Census Bureau

\*\* Realizado a partir dos dados da produção de minérios do U.S. Department of the Interior, U.S. Geological survey



### 2.2.10.6. Madeira

A produção europeia de madeira em tronco foi de 481.222m<sup>3</sup> em 1998. Nesse ano a produção de madeira em tronco em Portugal foi de 8.548m<sup>3</sup>, o que corresponde a aproximadamente 1,8% do total europeu, tendo sido nesse ano o 14º maior produtor europeu de madeira em tronco (UNECE 2001). Em termos de produção de madeira em tronco per capita Portugal ocupava em 1998 o 11º lugar na Europa, como se pode ver na Tabela 2.2.18.

**Tabela 2.2.18.** Produção de madeira em tronco per capita (por ordem decrescente)

	Produção em 1998 (milhares de m <sup>3</sup> )**	População total em 1998 (melo do ano)*	Produção de madeira em tronco per capita (m <sup>3</sup> /pessoa)
1-Finlândia	53.660	5.149.000	10,4214
2-Suécia	60.600	8.887.000	6,8190
3-Estónia	6.061	1.421.000	4,2653
4-Letónia	10.030	2.385.000	4,2055
5-Noruega	8.172	4.420.000	1,8489
6-Áustria	14.033	8.134.000	1,7252
7-República Checa	13.991	10.286.000	1,3602
8-Lituânia	4.879	3.600.000	1,3553
9-Eslovénia	2.133	1.972.000	1,0816
10-Eslováquia	5.530	5.393.000	1,0254
<b>11-Portugal</b>	<b>8.548</b>	<b>9.928.000</b>	<b>0,8610</b>
12-Croácia	3.398	4.672.000	0,7273
13-Rússia	95.000	146.861.000	0,6469
14-Irlanda	2.266	3.619.000	0,6261
15-França	35.527	58.805.000	0,6041
16-Polónia	23.107	38.607.000	0,5985
17-Suiça	4.276	7.260.000	0,5890
18-Bielorússia	5.902	10.409.000	0,5670
19-Roménia	11.649	22.396.000	0,5201
20-Alemanha	39.052	82.079.000	0,4758
21-Hungria	4.167	10.208.000	0,4082
22-Liechtenstein	13	32.000	0,4063
23-Bulgária	3.231	8.240.000	0,3921
24-Espanha	14.874	39.134.000	0,3801
25-Macedónia	699	2.009.000	0,3479
26-Dinamarca	1.558	5.334.000	0,2921
27-Turquia	17.668	64.567.000	0,2736
28-Jugoslávia	2.738	10.892.233	0,2514
29-Ucrânia	8.453	50.125.000	0,1686
30-Itália	9.550	56.783.000	0,1682
31-Grécia	1.692	10.662.000	0,1587
32-Reino Unido	7.260	57.721.000	0,1258
33-Moldávia	373	4.458.000	0,0837
34-Holanda	1.023	15.731.000	0,0650
35-Chipre	35	771.000	0,0458
36-Albânia	28	3.331.000	0,0083
37-Azerbaijão	13	7.856.000	0,0016
38-Uzbequistão	33	23.784.000	0,0014
EUA	494.016	270.312.000	1,8276

Fontes: \* Realizado a partir dos dados da população mundial do U. S. Census Bureau

\*\* UNECE 2001

### 2.2.10.7. Cortiça

Portugal é o maior produtor mundial de cortiça, como se pode ver nas Tabelas 2.2.19 e 2.2.20, tendo 33% da superfície total de montado de sobreiro, numa área de 725.000 hectares. A quota de mercado é de 52% do total da produção mundial (dados de 2000). A cortiça é extraída exclusivamente do Sobreiro - "Quercus Suber" - encontrado predominantemente na região mediterrânea. Ainda que a árvore possa crescer em diversas zonas climáticas, a sua exploração comercial só é viável em muito poucas zonas, sendo Portugal a zona mais viável de todo o mundo. A produção de cortiça tem aumentado nos últimos anos, com um acréscimo de 120.000 hectares de novos sobrados em Portugal e Espanha.

Os isolamentos em aglomerado expandido de cortiça, bem como os revestimentos de piso em cortiça, são soluções a utilizar preferentemente nas construções em Portugal e Espanha, pois, além de serem de entre os isolamentos e revestimentos de piso, aqueles que têm das mais baixas energias incorporadas, constituem um apoio inequívoco à indústria nacional e são materiais locais, o que permite igualmente economizar em transporte.

**Tabela 2.2.19.** Produção mundial de cortiça (por ordem decrescente)

	Hectares de sobrado	Produção total em 2000 (milhares de T)	% da produção mundial de cortiça
1-Portugal	725.000	175	52
2-Espanha	510.000	110	32
3-Itália	225.000	20	6
5-Marrocos	198.000	15	4
7-Tunísia	13.991	9	3
6-Algéria	460.000	6	2
4-França	22.000	5	1

Fonte: Natural Cork Quality Council, 2004

**Tabela 2.2.20.** Produção de cortiça per-capita (por ordem decrescente)

	Produção em 2000 (milhares de T)**	População total em 2000 (meio do ano)*	Produção de cortiça per capita (kg/pessoa)
1-Portugal	175	9.928.000	17,6269
2-Espanha	110	40.016.081	2,7489
3-Tunísia	9	9.563.816	0,9410
4-Marrocos	15	30.122.350	0,4980
5-Itália	20	56.687.000	0,3528
6-Algéria	6	30.409.300	0,1973
7-França	5	59.381.628	0,0842

Fonte: \* Realizado a partir dos dados da população mundial do U. S. Census Bureau

\*\* Natural Cork Quality Council 2004

### 2.2.10.8. Vidro

Em Portugal a produção global de vidro plano foi, em 2003, de aproximadamente 36 milhões de toneladas. Cerca de 70% desta produção destina-se a vidros para janelas, 10% para automóveis e 20% para mobiliário e outras aplicações interiores.

A Europa, a China e a América do Norte juntas constituem 75% do mercado do vidro. A maior parte da produção de vidro plano está concentrada em apenas quatro grupos: Pilkington, Saint-Gobain, Asahi e Guardian, com 62% da produção mundial total de vidro plano (Pilkington 2004). Devido à falta de disponibilidade de dados relativamente à produção Europeia e Mundial de vidro, não se elaboraram tabelas resumo deste material. Esta falta de disponibilidade deve-se seguramente ao facto desta actividade produtiva estar muito monopolizada e não existir livre divulgação de dados relativos à produção e mercado.