

JANUS B

UM MODELO DO STOCK RESIDENCIAL PORTUGUÊS



Copyright © DGEG 2025 | Esta publicação e os materiais aqui apresentados são propriedade da Direção-Geral de Energia e Geologia (DGEG), estando sujeitos a direitos de autor por parte da DGEG. No entanto, os materiais contidos nesta publicação podem ser livremente utilizados, partilhados, copiados, reproduzidos, impressos e/ou armazenados, desde que sejam claramente atribuídos à DGEG.

Declaração de exoneração de responsabilidade | Este é um documento de investigação. Os materiais aqui apresentados são fornecidos no estado em que se encontram. Foram tomadas todas as precauções razoáveis para verificar a fiabilidade dos materiais apresentados nesta publicação. No entanto, nem a DGEG nem qualquer um dos seus funcionários ou agentes fornecem qualquer garantia, incluindo quanto à precisão, integridade ou adequação a um determinado fim ou uso destes materiais, e não aceitam qualquer responsabilidade ou obrigação no que diz respeito ao uso desta publicação e dos materiais nela apresentado. As opiniões aqui explícitas ou implícitas não representam posições da DGEG, do Secretário de Estado da Energia ou do Ministério do Ambiente e Energia, nem são um aval a qualquer projeto, produto ou prestador de serviços.

Citação | DGEG (2025). *JANUS B. Um Modelo do Stock Residencial Português*. Estudos do Sistema Energético Português, nº 10. Direção-Geral de Energia e Geologia, Direção de Serviços de Sustentabilidade Energética, Divisão de Estudos e Sustentabilidade Energética. Lisboa, Portugal. 9 de setembro de 2025. 21 pp.

Data	9 de setembro de 2025
Autor	Ricardo Aguiar
Editor	Direção-Geral de Energia e Geologia
Endereços	DGEG, Direção de Serviços de Sustentabilidade Energética Av. 5 de outubro 208, 1069-203 Lisboa, Portugal
Web	www.dgeg.gov.pt/pt/areas-transversais/investigacao-e-inovacao/publicacoes-relatorios-estudos/

Índice

1. INTRODUÇÃO	6
2. ESTRUTURA	7
3. CALIBRAÇÃO	9
3.1. FONTES DE DADOS	9
3.2. INCERTEZAS	9
4. CENARIZAÇÃO	11
5. RESULTADOS	12
5.1. DINÂMICA DO STOCK	12
5.2. ENERGIA ÚTIL	14
5.3. ENERGIA SOLAR	15
5.4. ENERGIA FINAL	16
5.5. ENERGIA PRIMÁRIA	18
5.6. EMISSÕES DE GEE	19
6. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	20
REFERÊNCIAS	21

Sumário Executivo

Um modelo para o desempenho energético do stock de edifícios residenciais é uma ferramenta muito valiosa no planeamento estratégico de apoio a políticas públicas para este setor. Além disso, verifica-se que a granularidade e diversidade das estatísticas históricas disponíveis muitas vezes não é suficiente para responder a necessidades de caracterização detalhada do setor, bem como na monitorização das políticas e medidas em andamento, sendo necessária a hibridização de dados observados e dados de modelação consistentes. É neste contexto que a DGEG, através da sua Divisão de Estudos e Sustentabilidade Energética, tem vindo a desenvolver e aperfeiçoar o modelo «JANUS B».

O JANUS B segue a evolução de coortes (épocas de construção) de edifícios, considerando residências com renovações profundas, com renovações parciais, e não renovadas – portanto três arquétipos de residências por coorte –, bem como demolições, no caso das coortes mais antigas. São especificadas necessidades de energia útil para os vários usos – aquecimento ambiente, arrefecimento ambiente, aquecimento de águas sanitária, iluminação, cozinha, e equipamentos elétricos diversos. São especificados também os tipos de equipamentos que atendem a cada uso, e respetivas eficiências, possibilitando assim também o seguimento dos consumos segundo vetores energéticos – eletricidade, gás, biomassa, etc. Finalmente, são especificados os equipamentos instalados no (ou próximo do) edifício que aproveitam energias renováveis – tais como sistemas solares térmicos, sistemas solares fotovoltaicos, sistemas de queima de biomassa, e bombas de calor. Verifica-se que é essencial em termos de calibração do modelo admitir a existência de pobreza energética, em particular níveis de não satisfação das necessidades nominais de conforto térmico, e incluir o efeito de sucessivas gerações de regulamentos. Tudo considerado, é então possível estimar consumos de energia final e primária, e emissões de gases com efeito de estufa.

O modelo é ajustado e calibrado com diversas fontes – Balanço Energético Nacional, base de dados do Sistema de Certificação de Edifícios, estudos de custo-ótimo, e vários inquéritos – até ao período 2021-2025 (nominalmente 2023), utilizando as 11 coortes disponíveis no Censo de 2021 do INE. A partir daí são cenarizadas a evolução do stock e do desempenho energético das residências em coortes de 5 anos. Em conformidade com os objetivos nacionais e europeus de sustentabilidade energética e ambiental, a cenarização tem como objetivo último, obter em 2050 um stock de edifícios residenciais de elevada eficiência, grande conforto térmico, e globalmente com uma percentagem de utilização de energias renováveis muito elevada (acima dos 98%) e emissões de gases com efeito de estufa muito reduzidas (abaixo de $0,5 \text{ kg CO}_{2\text{eq}}/\text{m}^2$).

Executive Summary

A model for the energy performance of residential building stock is a very valuable tool for any kind of strategic planning to support public policies for this sector. In addition, it is often found that the granularity and diversity of the available historical statistics is not enough to meet the needs of detailed characterization of the sector, as well as in the monitoring of the policies and measures in progress, thus requiring the hybridization of observations and consistent modelling results even for past data. It is in this context that DGEG, through its Energy Studies and Sustainability Division, has been developing and refining the "JANUS B" model.

JANUS B follows the evolution of cohorts (construction periods) of buildings, considering residences with deep renovations, with partial renovations, and not renovated – therefore three archetypes of residences per cohort – as well as demolitions, in the case of older cohorts. Useful energy needs are specified for the various uses – space heating, space cooling, sanitary water heating, lighting, cooking, and diverse electrical equipment. The types of equipment that meet each use, and their respective efficiencies, are also specified, thus making it possible to monitor consumption according to energy vectors – electricity, gas, biomass, etc. Finally, equipment that harnesses renewable energy installed in (or near the) building – such as solar thermal systems, solar photovoltaic systems, biomass burning systems, and heat pumps – are specified. It is essential in terms of model calibration to admit the existence of energy poverty, in particular levels of non-satisfaction of nominal thermal comfort per cohort, and to include the effect of successive generations of building codes. All this considered, it is then possible to estimate final and primary energy consumption, greenhouse gas emissions, and various other useful stock performance indicators.

The model is adjusted and calibrated with several sources – National Energy Balances, Building Certification System database, Cost-Optimal studies, and various surveys – up to the period 2021-2025 (nominally 2023), using the 11 cohorts available in INE's 2021 Census. From there, the evolution of the stock and energy performance of homes in 5-year cohorts is projected. In accordance with long term national and European objectives for energy and environmental sustainability, the goal of a scenario is to obtain, by 2050, a stock of residential buildings with high efficiency, large thermal comfort, and globally with a very high percentage of renewable energy use (above 98%) and very low greenhouse gas emissions (below 0.5 kg CO₂eq /m²).

1. Introdução

Apresenta-se o modelo «JANUS B» para o desempenho energético e ambiental do stock nacional de edifícios residenciais, desenvolvido na Divisão de Estudos e Sustentabilidade Energética DGEG para apoio a políticas públicas.

Este modelo é útil desde logo para fins de **planeamento estratégico**, de que são exemplos roteiros e planos integrado multissetoriais – com destaque para o Roteiro de Neutralidade Carbónica 2050 (RNC) e o Plano Nacional Energia e Clima 2030 (PNEC) – e estratégias e planos específicos dos setores de edifícios, como a Estratégia de Longo Prazo para a Renovação de Edifícios (ELPRE) e mais recentemente o Plano Nacional de Renovação de Edifícios (PNRE), atualmente em desenvolvimento.

Adicionalmente, verifica-se que é útil também para **interpretação dos registos históricos**, e para **monitorização de políticas e medidas**. Isto porque a granularidade e diversidade das estatísticas disponíveis muitas vezes não é suficiente para responder às necessidades de análise, sendo necessária a hibridização de dados observados e dados de modelação consistentes.

A utilização de um modelo de stock para suporte das políticas públicas corresponde às melhores práticas atuais. Extrapolações das tendências históricas do setor têm sido utilizadas mas a sua validade é de curto prazo, apenas alguns anos, incorrendo em grandes enviesamentos quando se tenta estendê-las para o médio e longo prazo. Assim, é preferível recorrer a cenários implementados em modelos numéricos do setor. É certo que ainda são necessárias suposições sobre o comportamento futuro dos parâmetros que impulsionam a evolução do setor, mas as projeções resultantes são muito mais robustas que as de simples extrapolações de tendências históricas. Além disso, através de técnicas de *backcasting* é possível conceber cenários para atingir metas especificadas, e assim desenhar no presente políticas e medidas – que por sua vez podem ser inseridas no modelo e testadas e selecionadas quanto a custos e eficácia.

A secção 2 apresenta o conceito e descreve o modelo JANUS B; a secção 3 discute a sua calibração; a secção 4, os pressupostos de cenarização para um cenário consistente com neutralidade carbónica em 2050; e a secção 5, resultados. Por último são apresentadas conclusões, e discutidas lacunas de conhecimento e caminhos para o aperfeiçoamento do JANUS B.

2. Estrutura

O JANUS B segue a evolução de coortes (épocas de construção) de edifícios, considerando três arquétipos de residências: não renovadas, com renovações parciais, e com renovações profundas – portanto três arquétipos de residências por coorte.

As coortes são as descritas com detalhe no Censur 2021 do Instituto Nacional de Estatística (INE, 2022), designadamente: antes de 1918; 1919-1945; 1946-1960; 1961-1980; 1981-1990; 1991-2000; 2001-2005; 2006-2010; 2011-2015; 2016-2020. A estas, acrescentam-se para efeitos de cenarização coortes de 5 em 5 anos, i.e. 2021-2025; 2026-2030; 2031-2035; 2036-2040; 2041-2045; 2046-2050. A época de referência para a descrição do stock é 2021-2025, representado pelo ano nominal de 2023. Em termos de números de edifícios de cada tipo, o stock de 2023 é estimado pelo INE a partir do stock de 2021 a partir do número de construções novas terminadas em 2022 e 2023. Nesta versão inicial do JANUS B são modeladas apenas as residências permanentemente ocupadas, e sem distinguir residências unifamiliares («vivendas») de residências multifamiliares («apartamentos»).

O stock de residências não renovadas, por assim dizer “originais”, vai-se reduzindo com as renovações; têm-se em conta também uma pequena fração de demolições, para as coortes mais antigas, anteriores a 1960. As renovações profundas conduzem a residências com o desempenho energético da época de uma residência nova construída na época em que ocorre a renovação. As renovações parciais conduzem a menores melhoramentos do desempenho energético.

Para cada arquétipo são especificadas necessidades de energia útil para os vários usos – aquecimento ambiente, arrefecimento ambiente, aquecimento de águas sanitária, iluminação, cozinha, e equipamentos elétricos diversos. No caso das necessidades de climatização, são consideradas as alterações climáticas, diminuindo as necessidades de aquecimento ambiente e aumentando as de arrefecimento ambiente, considerando, e quando adequado, extrapolando, as tendências de graus-dia de aquecimento e arrefecimento disponibilizadas pelo EUROSTAT.

São especificados também os tipos de equipamentos que atendem a cada uso, e respetivas eficiências. Em princípio isto daria origem a algumas dezenas de arquétipos, isto é, de tipos de residências em cada coorte, consoante o equipamento especificado. Conjugando ainda com diversos tipos de clima (nove zonas climáticas, no caso de Portugal), e as variantes de vivenda ou apartamento, isto resultaria em muitas centenas ou mesmo alguns milhares de arquétipos no total do stock. Não se põe de parte que o modelo venha a evoluir progressivamente nesse sentido, mas de momento (ver mais na secção 3.5) considera-se uma residência “média”, num clima “médio” e com um *mix* virtual de todos os equipamentos – quer dizer, para cada um dos três arquétipos em cada coorte, especificam-se frações de atendimento a cada uso por cada tipo de equipamento, como por exemplo, bombas de calor, caldeiras a biomassa ou a gás, etc. Desta forma é possível calcular os consumos de energia dos arquétipos segundo vetores energéticos – designadamente eletricidade, GPL, gás de rede, biomassa, calor solar, e energia do ambiente.

Finalmente, são especificados os equipamentos instalados no (ou próximo do) edifício que aproveitam energias renováveis – nomeadamente, sistemas solares térmicos e fotovoltaicos. Embora em princípio houvesse outras tecnologias a considerar, tais como mini-eólica, mini-hídrica, ou redes urbanas de calor ou frio, na prática em Portugal o número de edifícios assim equipados é desprezável face ao número dos que recorrem a tecnologias solares. Pelo mesmo tipo de argumento, assume-se que os sistemas solares térmicos atendem apenas a necessidades de água quente sanitária (e não também de aquecimento do ambiente).

Considera-se ainda na modelação que, uma vez que uma residência seja equipada com bomba de calor, esta é do tipo AVAC: quer dizer, atende tanto ao arrefecimento como ao aquecimento do ambiente, o que condiciona desde logo o mix de tecnologias para este último uso.

Assume-se que as renovações (parciais ou profundas) conduzem a uma alteração do *mix* virtual de equipamentos, no sentido de maior eletrificação e de maior satisfação do conforto térmico relativamente ao arquétipo do edifício não renovado dessa coorte. Um aspeto muito importante é que, no caso da climatização, admite-se que as necessidades de conforto térmico não são totalmente satisfeitas nas coortes anteriores a 2025, quer dizer, existe um certo nível de pobreza energética. Isto traduz-se por um *mix* virtual de equipamentos para aquecimento ambiente que não soma 100%. No caso do arrefecimento ambiente, em que a única tecnologia considerada é a bomba de calor, traduz-se por uma fração de residências equipadas inferior a 100%.

Embora não se modelem renovações repetidas da envolvente da mesma residência em épocas sucessivas, considera-se a evolução do *mix* virtual de equipamentos em cada arquétipo, sempre no sentido de maior eletrificação e de maior satisfação do conforto térmico.

O desempenho global do stock de edifícios em termos de energia final é calculado como uma média pesada do desempenho de cada coorte, considerando o número de residências por coorte e por arquétipo. O desempenho em termos de energia final e as emissões de gases com efeito de estufa (GEE) é deduzido recorrendo a fatores de energia primária e de emissão de GEE para cada vetor, disponíveis num outro estudo (DGEG, 2025a).

3. Calibração

3.1. Fontes de dados

O Balanço Energético Nacional, compilado e publicado pela DGEG, foi a peça mais importante para calibração, designadamente o consumo de energia final por vetor energético no setor residencial. O ano de 2023 é o mais recente disponível (DGEG, 2024a), e foi tomado como representando a coorte 2021-2025. Relativamente a períodos anteriores, a coorte 2016-2020 contém dois anos anómalos devido à COVID-19, pelo que não é adequada para um reforço da calibração.

O ICESD 200 - Inquérito ao Consumo de Energia no Sector Doméstico (INE e DGEG, 2021) foi a base para estimar a desagregação do consumo por usos finais; mas também a edição de 2010 do ICESD foi tomada em conta, uma vez que o ICESD 2020 foi realizado num ano anómalo devido à COVID-19.

Os estudos de custo-ótimo efetuados para cumprimento dos Artigos 4º e 5º da EPBD (DGEG, 2024b), suportaram a especificação das necessidades de energia útil por tipo de uso.

A base de dados de certificados energéticos do SCE (ADENE, 2025) permitiu estimar as proporções entre edifícios existentes não renovados, existentes renovados, e novos. Em particular, a taxa atual de renovações parciais foi ajustada para 1,0% e a de renovações profundas para 0,7%.

Finalmente, as Estatísticas Rápidas das Renováveis (DGEG, 2025b) permitiram especificar o número, potência e desempenho médios dos sistemas solares térmicos e fotovoltaicos.

3.2. Incertezas

Os dados de calibração estão contaminados por numerosas incertezas. Por exemplo, o consumo de energia final do Balanço Energético Nacional não inclui as lenhas e sobrantes florestais recolhidos informalmente. Também o consumo de eletricidade inclui o relativo à rede elétrica, mas é estimada a parte de eletricidade de autoconsumo, viz. a que é produzida e consumida localmente, tipicamente a partir de sistemas fotovoltaicos. Além disso existem consumos para recarga de veículos elétricos, que embora pequenos por enquanto, estritamente falando deveriam ser realocados ao setor de transportes.

Quanto à repartição do consumo por usos finais, apoia-se no Inquérito ao Consumo de Energia no Sector Doméstico (ICESD), que é não periódico, realizado por amostragem, e a partir de entrevistas diretas, portanto com incertezas metodológicas a que se acrescentam componentes qualitativas nas respostas.

Relativamente às renovações de habitações, note-se que a base de dados de certificados energéticos do SCE não inclui as renovações que não levam à emissão de certificado (a residência não é nova, para venda, ou para aluguer), havendo pois uma subestimação que se considera muito significativa dos números reais de renovações – especialmente as parciais como por exemplo, simples mudança de janelas ou de equipamentos de climatização. Portanto, estes dados do SCE apenas podem ser usados para inferir proporções, e com alguma incerteza.

Os dados dos estudos de custo-ótimo são eles próprios resultados de simulação de arquétipos, portanto com incertezas relativas aos dados climáticos, construtivos, de equipamentos, e de operação.

Finalmente, refira-se que os dados relativos a sistemas solares térmicos se baseiam em números de vendas de sistemas novos mas ainda não contabilizam sistemas com defeitos e inoperacionais. E não há dados diretos sobre os números, orientação e potência de sistemas solares fotovoltaicos de autoconsumo em

residências, sendo alocada uma proporção estimada de todas as UPAC, e uma orientação e uma potência médias (e aliás de forma similar também para sistemas solares térmicos).

A existência de todas estas fontes de incerteza (e outras) significa que, por um lado, é inútil tentar ajustar o modelo para reproduzir exatamente os dados de calibração, e por outro lado, justifica a opção de utilizar apenas três arquétipos por coorte nesta primeira versão, uma vez que não há objetivamente dados estatísticos fiáveis e suficientes para conseguir calibrar dezenas de arquétipos por coorte.

Em resultado destas múltiplas incertezas, verificam-se na prática inconsistências entre os vários conjuntos de dados de calibração. Pelo que o procedimento de calibração do JANUS B não procurou (inutilmente) buscar correspondências exatas, mas sim maximizar a aderência possível em simultâneo às várias fontes de dados à data nominal de 2023.

4. Cenarização

Posteriormente a 2025 são definidas sucessivas coortes de 5 anos, até 2050. Os pressupostos de cenarização são elaborados considerando como objetivo para 2050, existir um stock global de edifícios energeticamente eficiente, com elevados níveis de conforto térmico, baixo consumo específico de energia satisfeito – direta ou indiretamente – por energias renováveis (acima dos 98%), e quase sem emissões de GEE (abaixo de $0,5 \text{ kg CO}_{2\text{eq}}/\text{m}^2$).

O número de edifícios novos construídos em cada coorte é projetado admitindo a existência de uma residência permanente por família, e combinando o cenário demográfico central do INE (2021) para o número de residentes com a evolução da dimensão das famílias.

Admite-se que os regulamentos de desempenho energético de edifícios não evoluirão substancialmente a seguir a 2025, até porque já estão muito próximo dos níveis de custo-ótimo. Isto traduz-se numa redução muito modesta das necessidades de energia útil para climatização.

Nos edifícios novos, considera-se que o conforto térmico é totalmente satisfeito. Contudo, as necessidades de energia para climatização especificadas são tão baixas para parte substancial dos edifícios novos, que não há necessidade de instalar equipamentos para atendimento a estes fins, ou de forma equivalente do ponto de vista da modelação, que o seu consumo energético é residual. Desta forma, também no período de cenarização o *mix* virtual de equipamentos de climatização em residências novas não soma 100% – mas desta vez sem significar pobreza energética.

De resto, o *mix* de equipamentos nos edifícios novos evolui no sentido da eliminação do GPL e gasóleo.

O conteúdo implícito em energia de origem renovável na eletricidade de rede e do gás de rede é obtido do cenário de neutralidade carbónica «CN50» da DGEG (2025c).

Em edifícios novos e grandes renovações, é respeitada a obrigatoriedade de instalação de sistemas de energia solar. De acordo com os resultados de custo-ótimo, é especificado sempre um sistema solar fotovoltaico; não obstante, em alguns edifícios estará presente também um sistema solar térmico.

5. Resultados

5.1. Dinâmica do stock

A Figura 1 ilustra a cenarização demográfica de onde deriva a estimativa de novas residências construídas em cada coorte. Embora a população residente diminua com o tempo, a dimensão das famílias diminui ainda mais rapidamente. Em resultado, há lugar à construção de mais residências novas, mas cada vez menos em épocas sucessivas, cf. Tabela 1 e Figura 2. De forma que o stock total de residências permanentemente ocupadas aumenta até 2050 mas apenas ligeiramente: cerca de 300 000, i.e. 7% do stock em 2018.

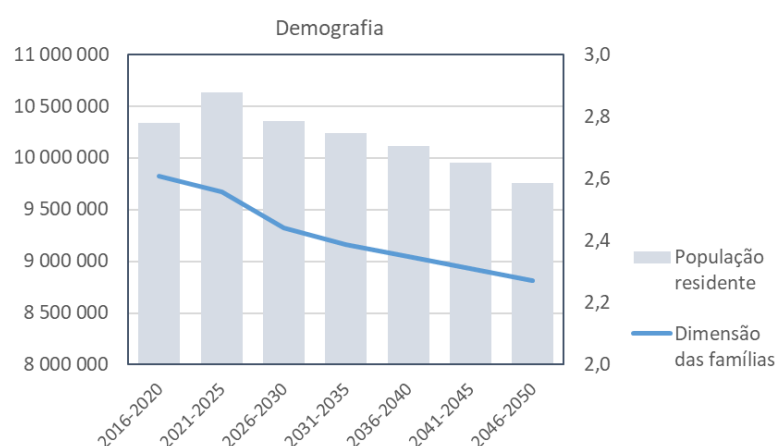


Figura 1. Cenário demográfico utilizado para estimar as necessidades de habitação

Tabela 1. Estrutura do stock residencial

Coorte	2021-2025	2026-2030	2031-2035	2036-2040	2041-2045	2046-2050
Stock total	3 962 718	4 123 954	4 197 834	4 239 819	4 265 056	4 269 393
Novas residências	83 800	45 000	35 000	33 000	28 000	22 000
Renovações parciais	328 567	417 534	512 504	591 162	629 481	587 561
Renovações profundas	27 432	28 595	29 532	29 857	29 224	27 407

O objetivo de chegar a 2050 com um stock dominado por residências eficientes foi quantificado em 75%, sendo 50% relativo a renovações parciais e 25% em residências novas e profundamente renovadas. O ajuste das taxas de renovação no cenário que levou a este resultado é mostrado na Figura 3, em termos globais (o ajuste foi diferente de coorte para coorte). Confronte-se de novo a Tabela 1 e a Figura 2 para os respetivos valores absolutos. Note-se o grande esforço em termos de renovações parciais, atingindo um pico maior que 125 000 residências renovadas por ano, no período 2041-2045.

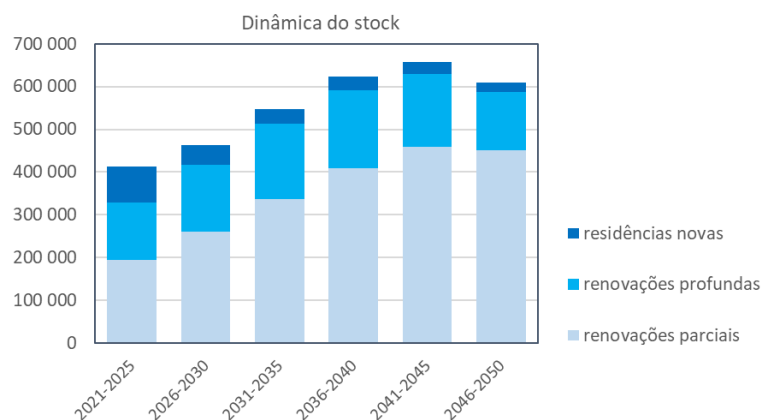


Figura 2. Residências novas e renovadas

Recorde-se que as taxas de renovação são calculadas em relação ao stock que ainda não sofreu renovação, e que vai sendo cada vez mais reduzido – daí a subida mais rápida das taxas do que pareceria olhando para os valores absolutos.

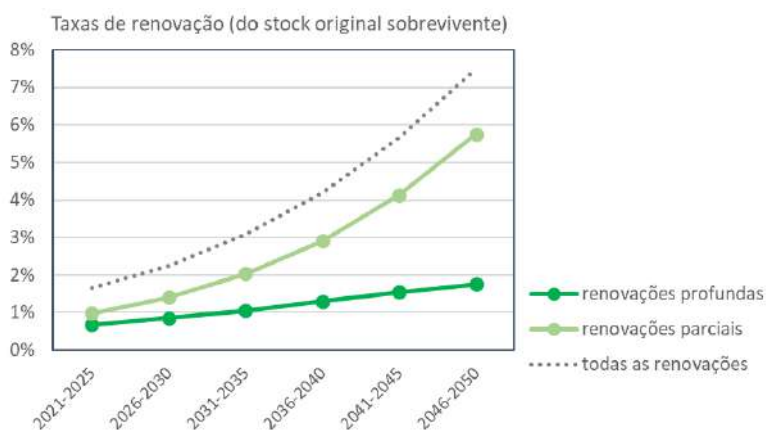


Figura 3. Taxas de renovação de residências de acordo com a sua profundidade

O impacto das renovações parciais por coorte nas necessidades de climatização é um dos fatores mais sensíveis na calibração (mas pouco cenarização). A Figura 4 mostra os perfis a que se chegou para obter uma boa calibração de consumos de energia final e uma cenarização de acordo com os pressupostos.

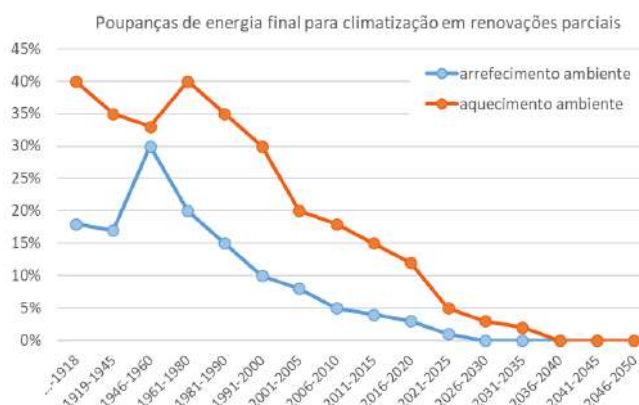


Figura 4. Poupanças em necessidades de climatização em resultado de renovações parciais.

Foi então possível com estas várias especificações sobre a dinâmica do stock, chegar ao objetivo de composição pretendido, cf. Figura 5.

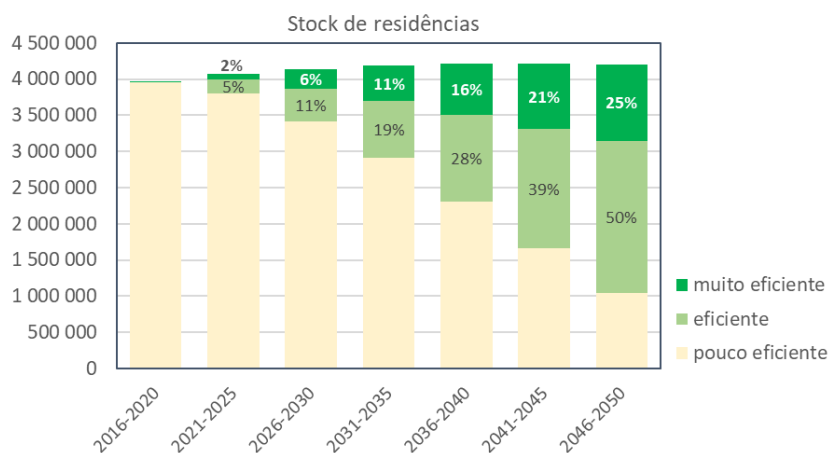


Figura 5. Composição do stock de residências por nível de eficiência

5.2. Energia útil

A evolução das necessidades médias anuais de energia útil em residências novas é ilustrada na Figura 6. As coortes mais antigas têm necessidades de climatização muito elevadas, mas há uma queda substancial quando os primeiros regulamentos térmicos são introduzidos. A queda continua devido à introdução de requisitos cada vez mais exigentes, até ao presente. A partir daí considera-se que os ganhos possíveis são já muito pequenos, mas a queda de necessidades de aquecimento continua, agora devido às alterações climáticas.

As restantes categorias de usos têm uma evolução com reduções pouco expressivas. Na cozinha, a redução estaria ligada a mudanças de dieta e mais comida preparada fora da residência. Admite-se que as ambições de mais iluminação subam, mas contrariadas por tendências arquitetónicas com janelas maiores e portas envidraçadas. E não obstante admitir-se a continuação do aumento de equipamentos elétricos e eletrónicos, a sua eficiência tem vindo a aumentar, de forma que as necessidades nesta categoria se mantêm essencialmente estáveis.

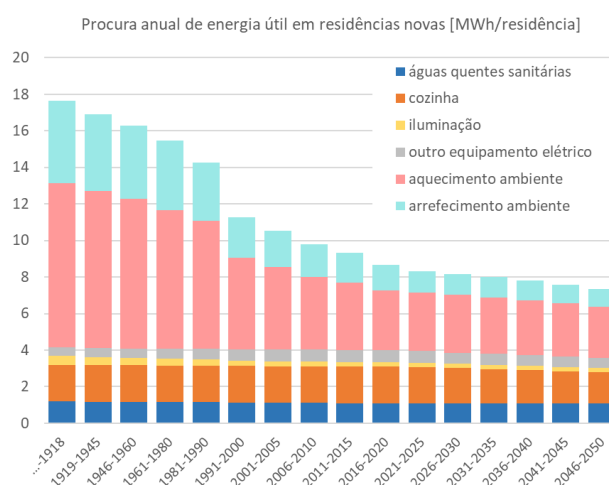


Figura 6. Procura anual de energia útil nos arquétipos de residência novas, por coorte e uso final

5.3. Energia solar

Foram montados dois modelos de stock específicos para os sistemas solares térmicos e os sistemas solares fotovoltaicos, uma vez que é necessário que o seu número seja coerente com o número de residências, com especial atenção ao período de cenarização onde há uma obrigatoriedade solar, e a sua potência e produção, com os dados estatísticos. Como se pode apreciar na Figura 7, a penetração das duas tecnologias está neste momento em convergência, mas projeta-se que o solar térmico estagnarà enquanto o solar fotovoltaico continuará a aumentar. A principal razão para isto é que, apesar do rendimento ótico dos sistemas solares térmicos ser muito superior ao dos fotovoltaicos, os primeiros estão limitados ao aquecimento de águas sanitárias, enquanto o solar fotovoltaico é mais flexível, podendo atender a todos os usos.

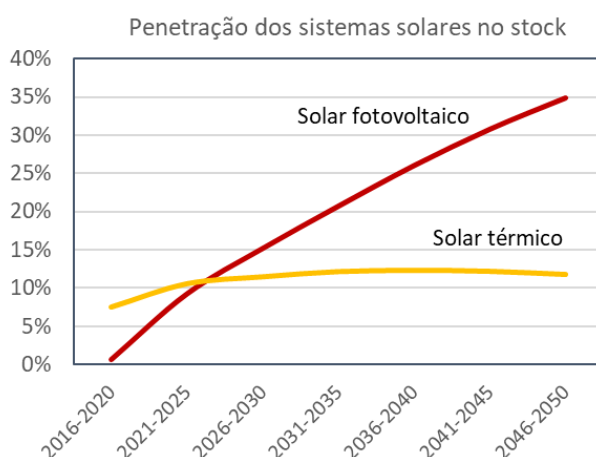


Figura 7. Penetração dos sistemas solares no stock de residências

Assim, estima-se que a capacidade nominal instalada, e a produção de energia, por solar fotovoltaico, já hoje em dia ultrapassa a do solar térmico (cf. Figuras 8 e 9), com um crescimento que se projeta linear até cerca de 2040. O abrandamento a partir daí está relacionado com a menor dimensão média dos sistemas instalados, devido à generalização da aplicação em edifícios de apartamentos com menos área de cobertura por residência que no caso de moradias isoladas.

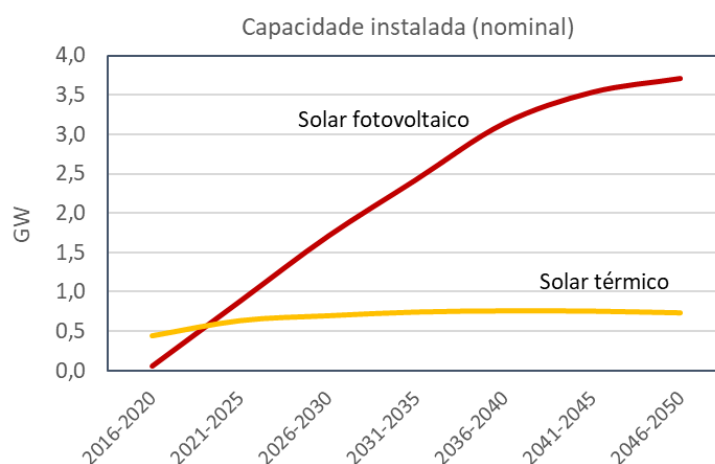


Figura 8. Capacidade nominal de energia solar instalada em residências, por tecnologia

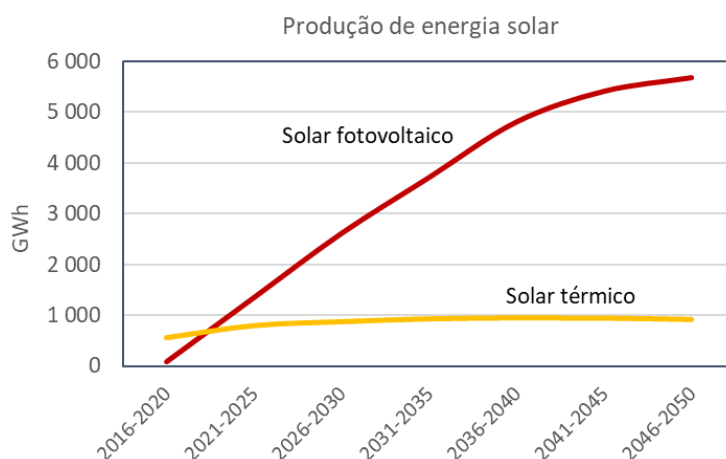


Figura 9. Produção local de energia solar em residências, por tecnologia

5.4. Energia final

O padrão de evolução do consumo específico de energia final está ilustrado na Figura 10, incluindo a parte de usos regulados, viz. climatização e iluminação. A aparente contradição entre a redução das necessidades de energia útil e a estabilização do consumo específico de energia final explica-se por um aumento do conforto térmico, que não pode resultar apenas de aumentar requisitos regulamentares que já são apertados, e exige também maiores consumos de energia para climatização no stock em geral.

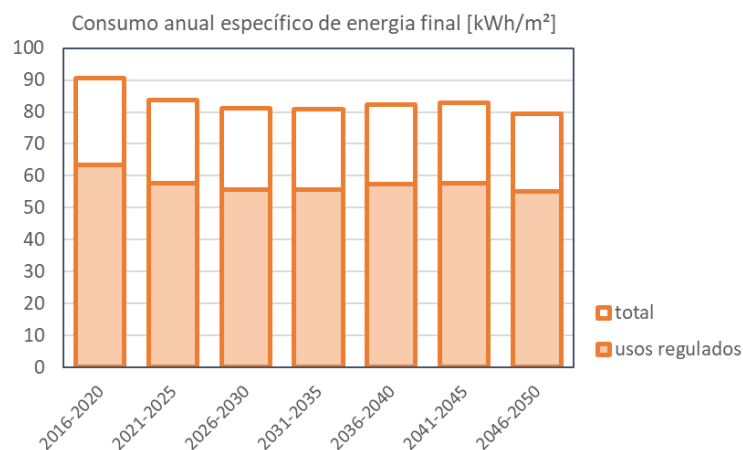


Figura 10. Consumo anual específico de energia final, total, e em usos regulados

A desagregação de consumos de energia final por uso e por vetor energético é ilustrada nas Figuras 11 e 12, respetivamente. A característica mais importante quanto aos usos, é a redução de consumos para aquecimento ambiente, quase compensada pelo aumento de consumos para arrefecimento ambiente.

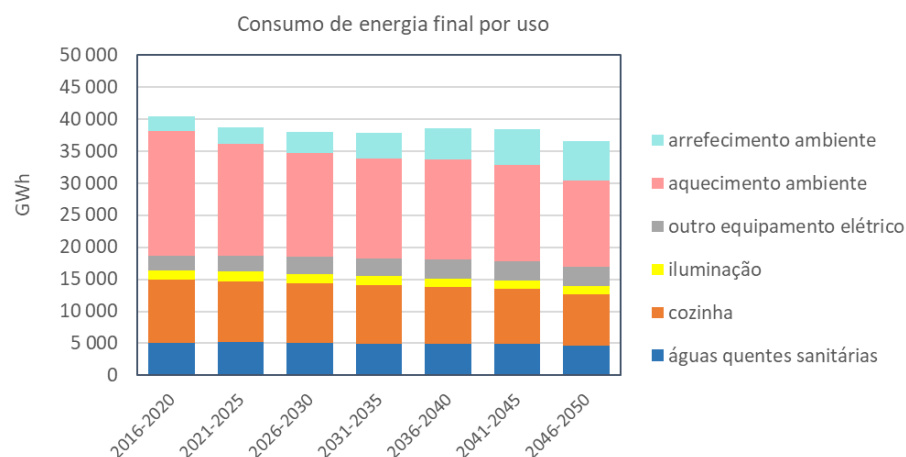


Figura 11. Consumo anual de energia final por uso

Relativamente aos vetores energéticos, é de realçar em primeiro lugar o desaparecimento dos combustíveis fósseis após 2035. Algum gás de rede ainda persiste para além disso, mas note-se que por essa altura não se trata simplesmente de gás natural mas de uma mistura onde já predominam o hidrogénio, o biometano, e o metano sintético. Em segundo lugar, note-se a eletrificação de consumos, quer diretamente, quer indiretamente através de bombas de calor (recolhendo energia do ambiente). Em terceiro lugar, como apontado antes, uma vez que uma bomba de calor seja introduzida, será quase sempre de tipo AVAC, portanto atendendo tanto a aquecimento como arrefecimento ambiente – o que tem como efeito colateral deslocar as tecnologias de biomassa.

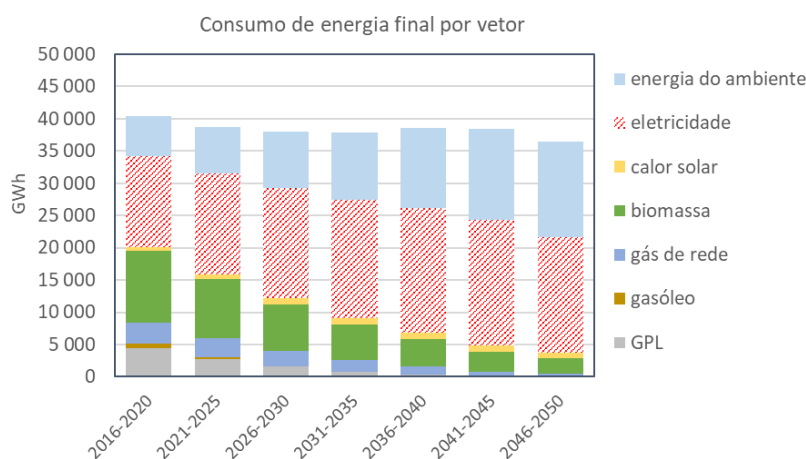


Figura 12. Consumo anual de energia final por vetor energético

Finalmente, no que respeita à origem da energia consumida (cf. Figura 13), após 2040 já é quase completamente renovável, seja obtida localmente – essencialmente energia solar e energia do ambiente, com ainda alguma energia da biomassa –, seja proveniente da rede elétrica, por essa altura completamente descarbonizada.

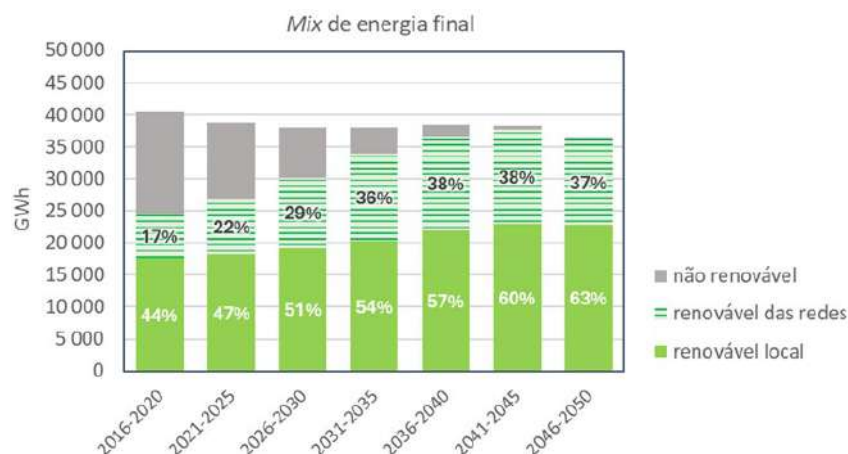


Figura 13. Mix de energia final por origem

5.5. Energia primária

Ao contrário do consumo específico de energia final, que regista reduções modestas face a 2020, o consumo específico de energia primária reduz-se substancialmente, em particular nos usos regulados, como ilustra a Figura 14. Numa primeira fase até 2030 isto sucede muito por força da redução do fator de energia primária da eletricidade e do desaparecimento de tecnologias de caldeiras em favor de bombas de calor, e em seguida principalmente pelo aumento progressivo de eficácia destas. Outras reduções menos importantes existem ligadas a aumentos de eficiência em equipamentos, por exemplo de iluminação fluorescente para LED, etiquetagem energética de eletrodomésticos, etc.

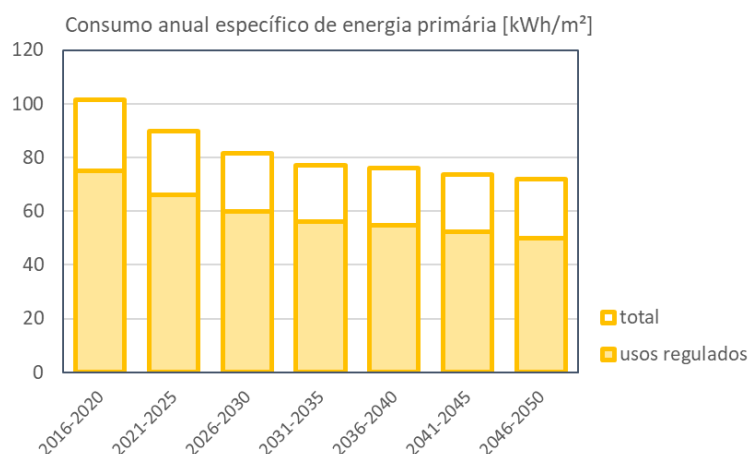


Figura 14. Consumo anual específico de energia primária

Este panorama nos consumos específicos reflete-se depois nos consumos absolutos, cf. Figura 15, mas de forma menos expressiva devido ao já referido efeito de aumento de consumos para maior conforto térmico.

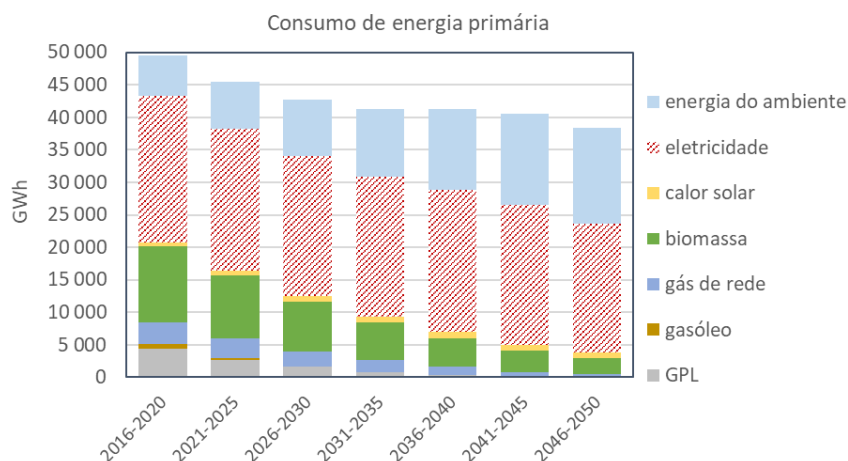


Figura 15. Consumo anual de energia primária

5.6. Emissões de GEE

Em resultado principalmente da redução das emissões de GEE implícitas na eletricidade da rede (e mesmo no gás de rede), mas também do aumento da implantação de sistemas solares e da descontinuação dos consumos de combustíveis fósseis, mesmo em edifícios existentes, as emissões do stock de residências caem rapidamente ao longo do tempo, cf. Figura 16, para valores abaixo de 0,5 kg CO₂eq /m². Estas são emissões operacionais de «escopo 2», quer dizer, as emissões diretas no local por processos de queima de combustíveis de origem fóssil, adicionadas das emissões indiretas implícitas na eletricidade da rede.

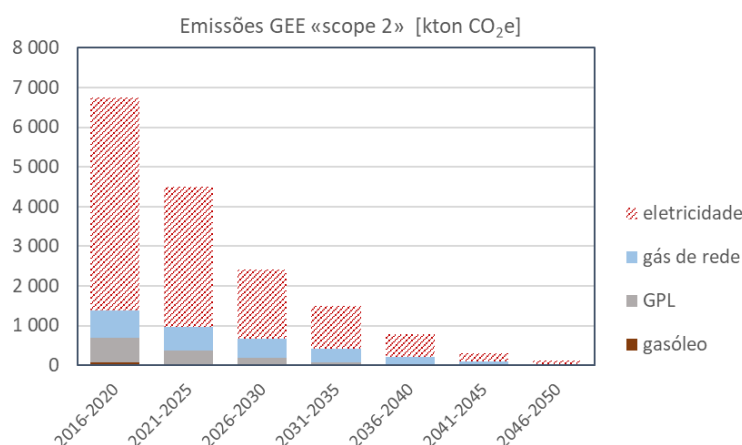


Figura 16. Emissões de GEE anuais do stock residencial, no escopo 2

Sendo as emissões operacionais tão baixas a partir de 2030, um exercício não apresentado aqui mostrou que rapidamente elas se tornam muito inferiores às emissões indiretas «embebidas», i.e. as implícitas nos processos de construção e nos materiais utilizados nos edifícios (cimento, cerâmica, etc.).

6. Desenvolvimentos futuros

Este modelo tem de ser regularmente atualizado e recalibrado, não apenas com as estatísticas anuais que vão surgindo, mas também com a cenarização geral do sistema energético que lhe dá contexto.

É também relevante referir que a calibração do modelo não é unívoca, quer dizer, a nível de cada coorte são possíveis variações dos equipamentos, das taxas de renovação, do efeito de renovações parciais, etc., que permitiriam também uma calibração aceitável. Uma forma de reduzir estas potenciais variantes e aperfeiçoar a calibração, é recorrer a simulações do desempenho dos arquétipos de cada coorte, incluindo a exploração dos impactos das renovações parciais e profundas. Há também a possibilidade de aumentar o número de arquétipos (por exemplo, vivendas vs. apartamentos, diversas zonas climáticas...). Mas como já se salientou antes, no final muito depende dos níveis de (des)conforto térmico que são assumidos; pelo que pode ser ilusório o ganho que se obtém com aumentos de complexidade não suportados por dados estatísticos com maior granularidade.

A extensão deste tipo de modelação aos edifícios de serviços pode e deve ser considerada – mas aqui o desconhecimento do stock de edifícios, por categoria e área, é um grande obstáculo que só pode ser ultrapassado com dados estatísticos mais detalhados.

Referências

- ADENE (2025). *Estatística do Sistema de Certificação Energética dos Edifícios*.
<https://www.sce.pt/estatisticas/>
- DGEG (2024a). Balanços Energéticos Nacionais. Disponíveis no website da DGEG,
<https://www.dgeg.gov.pt/pt/estatistica/energia/balancos-energeticos/>
- DGEG (2024b). *Estudos de Custo-Ótimo III – Edifícios Residenciais*. Estudos para o terceiro relatório em cumprimento da Diretiva 2010/31/UE (EPBD) e Regulamento Delegado (UE) n.º 244/2012, relativo ao cálculo dos níveis ótimos de rentabilidade dos requisitos mínimos de desempenho energético dos edifícios e componentes de edifícios – residências novas e grandes renovações, 3ª versão. Autores: R. Aguiar e P. Zoio. Edição Direção-Geral de Energia e Geologia, Lisboa, 21 de outubro de 2024. 49 pp.
- DGEG (2025a). *Trajectories of Energy Conversion and GHG Emission Factors for Portugal. Studies on the Portuguese Energy System 009*. Directorate-General for Energy and Geology, Division of Research and Renewables, Lisbon, Portugal. May 2025. 50 pp.
- DGEG (2025b). *Estatísticas Rápidas das Renováveis*. <https://www.dgeg.gov.pt/pt/estatistica/energia/publicacoes/estatisticas-rapidas-das-renovaveis/>
- DGEG (2025c). *CN50 scenario – 2024 update. Carbon Neutrality in the Portuguese Energy Sector by 2050*. Studies on the Portuguese Energy System 008. Directorate-General for Energy and Geology, Division of Research and Renewables, Lisbon, Portugal. February 2025. 45 pp.
- INE (2021). *Projeções de População Residente 2018-2080*. INE, 2020. <https://ine.pt>
- INE (2022). *Censos 2021 - XVI Recenseamento Geral da População. VI Recenseamento Geral da Habitação*. <https://censos.ine.pt>
- INE e DGEG (2021). *Inquérito ao Consumo de Energia no Sector Doméstico 2020*. Instituto Nacional de Estatística, I.P., e Direção-Geral de Energia e Geologia, 2021. <https://www.ine.pt>