

2. Modelo de Avaliação Produtiva e Zonamento de Culturas Temporárias e Perenes

José Paulo de Melo e Abreu, João Ferreira Silva, Selma B. Pena, Leonor Themudo Barata, Manuel Leitão, Andreia Saavedra

Introdução

A zonagem das culturas agrícolas à escala de Portugal Continental, tem como objectivo último a disponibilização de mapas e outra informação tabelada que permita guiar os produtores agrícolas, técnicos e decisores na tomada de decisão sobre a eleição das culturas mais favoráveis para implantar nas terras apropriadas à produção agrícola. O sistema GAEZ (Global Agro-ecological Zones) gera informação detalhada que pode ser utilizada para o planeamento fundamentado e para apoiar na decisão para a promoção da segurança alimentar e desenvolvimento agrícola (Fisher *et al.*, 2012). O sistema GAEZ baseia-se no inventário de recursos edáficos e avalia as limitações edafoclimáticas e os potenciais produtivos do território. A abordagem seguida é muito abrangente, conjugando dados do território, climáticos e informação espacializada. Note-se que a informação espacializada inclui dados estatísticos de produções para moldar as saídas obtidas pelos modelos. Outras abordagens estão a ser desenvolvidas no âmbito de um projecto europeu (MODEXTREME), que vão na continuidade de outros projectos que terminaram recentemente (e.g., SEAMLESS).

Todas as alternativas foram sopesadas, chegando-se à conclusão de que o único sistema que, por estar já operacional, nos poderia servir, eventualmente, seria o sistema GAEZ. Este sistema é muito completo e poderoso, permite a análise de cenários de alteração climática, zonagem agro-ecológica à escala global ou regional. No entanto, a utilização do sistema não está facilmente disponível, requereria um esforço de adaptação muito grande, obrigar-nos-ia a trabalhar num sistema alheio e em que a informação pormenorizada sobre os modelos que incorpora é insuficiente. As bases de dados teriam de ser substituídas pelas nossas, que são mais pormenorizadas e de grão mais fino. Assim, decidimos utilizar um sistema que serve plenamente os nossos objectivos, que conhecemos e que tem vindo a ser validado para as nossas condições, e que pode evoluir de acordo com as nossas necessidades. Por isso, decidimos fazer uma versão da família de modelos CSS (Crop Simulation System) que têm vindo a ser criados ao longo dos anos no Instituto Superior de Agronomia, intitulada CSS_Zoner.

Materiais e Métodos

Dados base

Na elaboração do modelo CSS foram utilizadas dados relativos ao solo, clima e relevo. Relativamente ao solo, foram utilizadas a textura (relativa aos primeiros 30 cm) e a espessura efectiva, elaboradas a partir da cartografia de solos produzida previamente no Projecto PTDC/AUR-URB/102578/2008 “Estrutura Ecológica Nacional – Uma proposta de delimitação e regulamentação” e de informação descritiva complementar. A cartografia de solos resultou de um trabalho de sistematização da cartografia existente para Portugal Continental, com escalas e sistemas de classificação taxonómica distintos, compreendendo cinco regiões: Entre-Douro e Minho, Nordeste, Faixa Litoral Centro, Zona Interior Centro e a Região Sul (Magalhães (coord.), 2013).

A base de dados climática utilizada no modelo foram os apuramentos estatísticos, designados Normais Climatológicas, do período de 30 anos 1961-1990. Foi utilizada para esse período a informação proveniente de todas as estações da rede nacional de estações do Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA) localizadas em Portugal Continental. As variáveis meteorológicas relativas às diferentes estações meteorológicas foram interpoladas, posteriormente, para os restantes pontos de Portugal Continental (1 km x 1 km). No caso da temperatura as interpolações espaciais foram feitas para as temperaturas reduzidas ao nível do mar, sendo recalculadas para a cota da célula utilizando o gradiente vertical da temperatura de 0,58°C/100 m.

Sistema de modelação

Nesta resenha, apresentamos o CSS_Zoner, os seus objectivos, opções tomadas, estrutura e funcionamento.

O modelo construído simula o crescimento e produção de qualquer cultura anual, bianual ou perene, entrando com as principais variáveis climáticas, textura e espessura do solo e as principais características das plantas. As especificações exigidas ao modelo foram as seguintes:

- a. Simular a produtividade potencial da pereira, oliveira, vinha e de uma ou mais culturas de cada tipo de cultura arvense e hortícola, em regadio e em sequeiro, quando aplicável.
- b. Garantir que as produtividades simuladas têm um intervalo de confiança que permita dar uma orientação fiável sobre a produtividade relativa da cultura nos píxeis e valores absolutos de produtividade aceitáveis.
- c. Exigir o mínimo de parâmetros e variáveis de entrada, evitando os parâmetros culturais que são mal conhecidos ou cujos valores têm grande variação relacionadas com o ambiente físico ou de cultivar para cultivar. Quanto aos solos, as variáveis consideradas devem ser apenas a textura e fase quanto à drenagem e a espessura do solo. As variáveis climáticas de entrada são as constantes nas normais climatológicas.
- d. Aquando da execução o modelo deve ler a informação de solos e clima numa base de dados matricial, ler os parâmetros culturais da cultura que está a ser simulada e prosseguir até produzir uma base de dados matricial para cada variável de saída.

Como as bases de dados de entrada e os resultados são matriciais, foi incorporado um objecto (CropAdapter) no modelo que começa por analisar o clima e o solo de cada célula. As variáveis do solo e as variáveis climáticas mensais são utilizadas para gerar as variáveis que o modelo necessita, recorrendo a submodelos de estimativa ou a interpolações. As características físicas do solo estimadas são a capacidade de campo, o coeficiente de emurchecimento permanente, a humidade do solo seco ao ar e a densidade aparente do solo.

As variáveis climáticas mensais são primeiramente interpoladas para obter as variáveis diárias respectivas, seguindo-se a geração de outras variáveis diárias derivadas destas. No caso das culturas de sequeiro, os períodos termicamente favoráveis à cultura são restringidos, pelas disponibilidades hídricas de água no solo, o que é alcançado através dum submodelo ultrassimplificado de uma cultura de referência.

Por fim, os períodos favoráveis à cultura são conjugados com os parâmetros culturais das cultivares possíveis para definir o número de culturas por ano, se houver mais do que uma, a (primeira) data de sementeira/plantação, e selecciona as especificações da variedade que maximiza a produção. No caso das culturas de inverno, o CropAdapter inclui um processo iterativo que compatibiliza a data de floração com o período livre de geadas, maximizando a permanência da cultura no terreno em condições favoráveis.

No caso em que a época disponível para a cultura seja incompatível com uma cultura de inverno esta passa, opcionalmente, a ter uma sementeira/plantação primaveril. Caso as cultivares existentes sejam incompatíveis com as condições edafoclimáticas do local, o programa passa para a célula seguinte e coloca zeros (ou espaços) nos valores das variáveis de saída.

Seguidamente, entra em acção um submodelo de crescimento e produção para culturas de regadio ou de sequeiro. As limitações nutricionais, reduções da produção por factores bióticos ou abióticos, reduções devido a deficiências de gestão da cultura não são consideradas. É um modelo dinâmico, determinístico, mecanístico e com passo diário. Em termos estruturais, é constituído por três objectos (*Astromet*, *Canopy and Soil*), que trabalham cooperativamente para determinar a produtividade obtida na(s) colheita(s) em cada uma das células de 1 Km² em que se dividiu o território de Portugal Continental. Além da produtividade, apresentam-se outras variáveis secundárias que podem ser utilizadas para explicar as produções alcançadas ou documentar aspectos relacionados com o desempenho das culturas, tais como a matéria seca total produzida, índices de área foliar máximo, altura das plantas, profundidade atingida pelas raízes da cultura, período de crescimento, componentes do balanço de água no solo, entre outras.

Em termos de concepção, os objectos incorporam as abordagens mais robustas existentes, tão simples quanto possível, mas que necessitem parâmetros facilmente disponíveis e adaptáveis às cultivares utilizáveis, condições

edafoclimáticas e técnicas culturais compatíveis com a nossa realidade.

O objecto Astromet, que coopera também pelo objecto CropAdapter, além de gerar variáveis diárias de elementos meteorológicos que não constam das normais climatológicas (e.g., radiação solar global, evapotranspiração de referência) calcula o fotoperíodo, estima a velocidade do vento a 2 m de altura, calcula fluxos radiantes da radiação fotossinteticamente activa (PAR) e da radiação infravermelha próxima (NIR) e separa a radiação solar global em directa e difusa.

O objecto Canopy utiliza as seguintes abordagens:

- No desenvolvimento fenológico de culturas utiliza o modelo em “dente de serra” para o cálculo do incremento do tempo térmico diário. As fases consideradas são: a fase que vai da sementeira até à emergência, ou nas culturas plantadas a fase que medeia entre a plantação e recuperação da plântula; a fase emergência floração e a fase floração maturação industrial. No caso das culturas permanentes, as simulações começam sempre no dia 1 de Outubro do ano anterior, para permitir os cálculos das necessidades de frio, se as houver. Internamente o modelo trabalha com o tempo térmico normalizado, em que 0 corresponde à emergência, 0,5 corresponde à floração e 1 corresponde à maturação (Abreu *et al.*, 1993; Ferreira *et al.*, 1997). A previsão da data de floração das culturas perenes, utiliza um modelo sequencial, que tem uma fase de acumulação de frio a que se segue uma fase de acumulação de calor, que é de fácil parametrização (De Melo-Abreu *et al.*, 2004, 2005).
- A produção de assimilados segue abordagens clássicas, muito robustas, com provas dadas na modelação cultural, com algumas alterações que consideramos necessárias (Monteith, 1977; Vieira *et al.*, 2009). Assim, para o cálculo dos assimilados líquidos diários produzidos utiliza-se a equação:

$$P_n = \epsilon \cdot i \cdot S_{PAR} \cdot F_T \cdot F_D \cdot F_W \quad (\text{Eq. 1})$$

em que:

ϵ - Eficiência do uso da radiação (RUE), inicialmente chamada eficiência fotosintética [g MJ^{-1}]. Consideram-se apenas os assimilados que se destinam à parte aérea (folhas, caules, sementes ou frutos). A radiação é a PAR. A RUE é recalculada diariamente para atribuir um peso superior à radiação difusa do que à radiação directa, sendo o peso dado à difusa maior nas plantas C_3 .

i - Fração da PAR intercetada pelo coberto vegetal, calculada pela lei de Beer/Bouguer.

S_{PAR} - Densidade do fluxo radiante na faixa visível (0,4 - 0,7 μm).

F_T - Factor (0 - 1) que reduz a RUE quando a temperatura do ar durante o dia não é óptima.

F_D - Factor (0 - 1) que reduz a RUE quando o défice de saturação não é óptimo.

F_W - Factor (0 - 1) que reduz a RUE após a água prontamente disponível ter sido consumida (Allen *et al.*, 1998).

- A taxa diária de produção líquida de assimilados, calculada pela Eq. 1, é corrigida entrando com o acréscimo da taxa de respiração de manutenção quando a da temperatura média diária do ar não é igual à temperatura de referência (McCree, 1970; Penning de Vries, 1975). No caso das plantas perenes, existe biomassa acumulada em anos anteriores que também respira. No caso das plantas de folha persistente, transitam do ano anterior os ramos, tronco e folhas; nas caducifólias, as folhas só existem no início do ano agrícola. As correcções quando a temperatura é diferente da temperatura de referência são também contabilizadas, de molde semelhante.
- A alocação de assimilados, contabilizados em glucose, para as folhas, caules, sementes ou frutos é feita de acordo com funções empíricas retiradas da bibliografia e de dados experimentais da nossa base de dados. A transformação de glucose em matéria seca do órgão em causa é feita por factores de conversão (McCree, 1970; Penning de Vries *et al.*, 1989; Vieira *et al.*, 2009).

- e. A formação da área é obtida através das áreas específicas das folhas e, por vezes também dos caules, espigas ou frutos. Assim, por exemplo, para o caso das folhas a área específica (SLA), em função do estado, obtida por uma função empírica, em $\text{m}^2 \text{kg}^{-1}$, multiplica-se pela matéria seca das folhas (kg m^{-2}) para obter o índice de área foliar (LAI, em $\text{m}^2 \text{m}^{-2}$).
- f. Por fim, calculam-se as variáveis de saída relacionadas com o objecto, nomeadamente a produtividade com a humidade padrão ou estimada aquando da colheita, mas não considerando perdas de colheita. Muitas variáveis auxiliares são também colocadas à disposição dos outros objectos.

O objecto Soil calcula as componentes do balanço hídrico do solo. O solo é dividido em duas camadas, sendo uma de evaporação (8 a 12 cm) e outra subjacente que é a zona onde se dá o grosso do desenvolvimento radicular. Nesta abordagem, no início do ciclo cultural, consideramos que a camada de evaporação sofre também extracção de água pelas raízes. O escoamento superficial utiliza o método do número da curva (USDA/SCS, 1972). A distribuição de água é feita pelo método de cascata (Campbell, 1985).

A evaporação do solo baseia-se na abordagem de Boesten and Stroosnijder (1986), com a evapotranspiração potencial na superfície do solo calculada directamente pela equação de Penman-Monteith, usando uma velocidade do vento atenuada (Campbell & Norman, 1998). A extração da água pelas raízes (transpiração) utiliza uma abordagem descrita por Villalobos *et al.* (2013) para a transpiração potencial e a transpiração real é calculada a partir da potencial utilizando um factor de défice hídrico (Keulen, 1975).

Na impossibilidade de simular todas as culturas, estas foram organizadas por grupos com alguma afinidade e escolheram-se uma ou algumas para exemplificar o comportamento de cada grupo.

Calibração e validação

Calibrações e validações rigorosas de muitos submodelos que estão incorporados no, agora, submodelo de crescimento foram feitas por nós nas nossas bases de dados para as culturas do trigo, milho, beterraba, pimento, feijão, pera, vinha e oliveira. A cultura do melão, tomate e morango beneficiaram de dados e contribuições de especialistas nessas culturas. As restantes culturas foram parametrizadas e, por vezes, validadas pontualmente utilizando informação publicada nacional e internacionalmente.

Paralelamente, os resultados de simulação foram comparados com dados experimentais nacionais, geralmente pontuais, quando existiam e com as estatísticas do INE para garantir a sua razoabilidade. Em raros casos em que os resultados de simulação pareciam anormalmente altos, recorreu-se à análise de dados experimentais de regiões de clima muito semelhante ao clima das células em causa. Felizmente, verificou-se que as previsões do modelo eram plausíveis também nesses casos, o que pode ser um sinal de que há margem para melhorar as produções nesses casos, utilizando datas de sementeira e cultivares com ciclo ajustado ao ambiente físico vigente no local que a célula representa.

Mapeamento

Os resultados gerados pelo modelo CSS foram integrados num Sistema de Informação Geográfica (SIG) resultando daí o mapeamento da produção (“Cell Yield”), em toneladas por hectare, de cada cultura analisada.

Este resultado foi posteriormente sujeito a operações que condicionaram a distribuição potencial das várias culturas no território. A todas as culturas foram extraídas as áreas classificadas como afloramentos rochosos, arribas (Silva *et al.*, 2013a), areias de duna e dunas (Silva *et al.*, 2013a), areias de praia (Silva *et al.*, 2013a), massas de água e zonas húmidas interiores e litorais (Silva *et al.*, 2013b) (Figura 7).

Excepcionam-se aqui as culturas hortícolas (e.g. couve brócolo, alface, tomate) às quais não foram extraídas as áreas de “areias de duna” já que representam áreas tradicionalmente passíveis de produzirem estas culturas mediante certas condições (e.g. incorporação de matéria orgânica) tal como acontece por exemplo nas zonas da Costa da Caparica e Fão. O arroz, devido às características singulares associadas ao seu cultivo, nomeadamente o facto de ter de estar alagado durante grande parte do seu ciclo de vida, foi também sujeito a condicionamentos

que visaram limitar a sua área de distribuição potencial às áreas classificadas como sistema húmido (Figura 8) na Estrutura Ecológica Nacional (Cunha *et al.*, 2013).

Outro condicionante a ter em conta, quando se fala na actividade agrícola, é o declive, factor que influencia a gestão da cultura e ao qual estão associados problemas, tais como a erosão do solo. Neste trabalho, foi decidido não incluir este condicionante nos resultados produzidos a nível nacional devido às variações que existem localmente e também à existência de técnicas (e.g. socacos e plantação segundo as curvas de nível) que permitem a construção de paisagens agrícolas em áreas declivosas, como acontece no vale do Douro. Assim, a informação veiculada por este estudo deve ser analisada tendo em conta as especificidades de cada terreno a que as culturas se destinam, nomeadamente encontrando as soluções técnicas mais apropriadas.

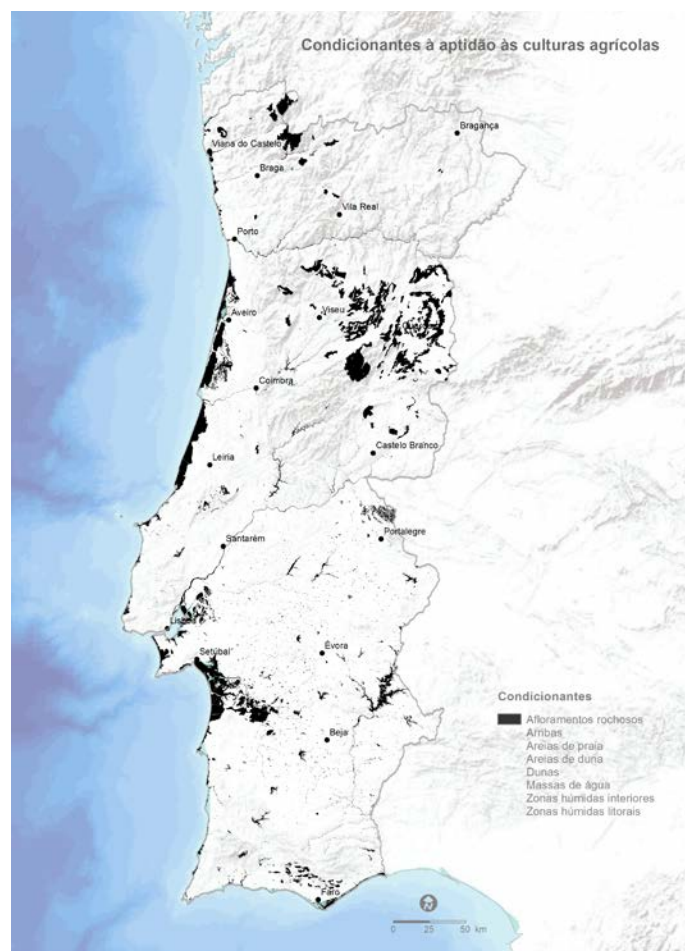


Figura 7 – Condicionantes à aptidão às culturas agrícolas (afloramentos, areias, dunas e massas de água).



Figura 8 – Condicionantes à aptidão à cultura do arroz.

Aplicação a Portugal

Dada a natureza matricial da informação, apresentamos a informação sobre a forma de mapas. Reiteramos, que as produtividades apresentadas nos mapas são as produtividades potenciais limitadas apenas pelos elementos meteorológicos que caracterizam o ambiente físico das plantas, no caso das culturas em regadio, e sujeitas também à disponibilidade hídrica de origem pluvial, modelada pelas características físicas do solo e profundidade alcançada pelas raízes, no caso das culturas de sequeiro. Por outro lado, pressupõe-se que a tecnologia de produção utilizada é a mais avançada conhecida na actualidade, de molde a permitir produções de quantidade e qualidade elevadas. As limitações resultantes da fertilidade natural dos solos, que não são corrigidas pelas fertilizações e correcções, as características físicas adversas dos solos que limitam o crescimento desejável das raízes, e as pragas e doenças não são tomadas em consideração.

Assim, os mapas apresentados referem-se à produtividade potencial (regadio) e à produtividade limitada pela água (sequeiro).

Seguidamente faz-se uma análise crítica dos resultados e inclui-se alguma informação mais especializada das culturas cuja produção está mapeada.

Trigo mole (*Triticum aestivum* L.)

O trigo (Figura 9 e Figura 10) é uma espécie C_3 , que em Portugal é cultivado como uma cultura de inverno, embora muitas das cultivares tenham características de cultura de trigo primaveril, nomeadamente a ausência, ou quase, de resposta fotoperiódica e de necessidades de vernalização. Em geral, neste estudo, a cultivar de trigo é a que sendo semeada no inverno, tem floração no início do período livre de geadas e ocupa a estação de crescimento o mais completamente possível. Nas células cujo clima não permite sementeiras inverniais, visto que a floração das cultivares existentes se daria ainda no inverno, a cultura passa a ser semeada na primavera.

As produções potenciais máximas simuladas para algumas células podem parecer irrealistas. No entanto, as produções do trigo, mesmo em condições de sequeiro, atingidas em alguns países, são superiores às indicadas. Por exemplo, em condições excepcionais e pontuais, as produções de trigo de Inverno na Nova Zelândia e Reino Unido, ultrapassam as 14 t/ha. Ora, nós também temos climas amenos e chuvosos que, em pontos em que o solo é fértil, poderiam ter produções de trigo muito elevadas. Infelizmente, as áreas com estas características são muito pequenas.

Os máximos nacionais, alcançados em algumas células, não são muito díspares no regadio e no sequeiro, dado que esses máximos ocorrem em localizações nortenhas em que a pluviometria de origem orográfica é elevada, o que favorece as produtividades excepcionais em sequeiro, e com humidades elevadas e temperaturas relativamente amenas que favorecem a produtividade tanto em regadio como em sequeiro.

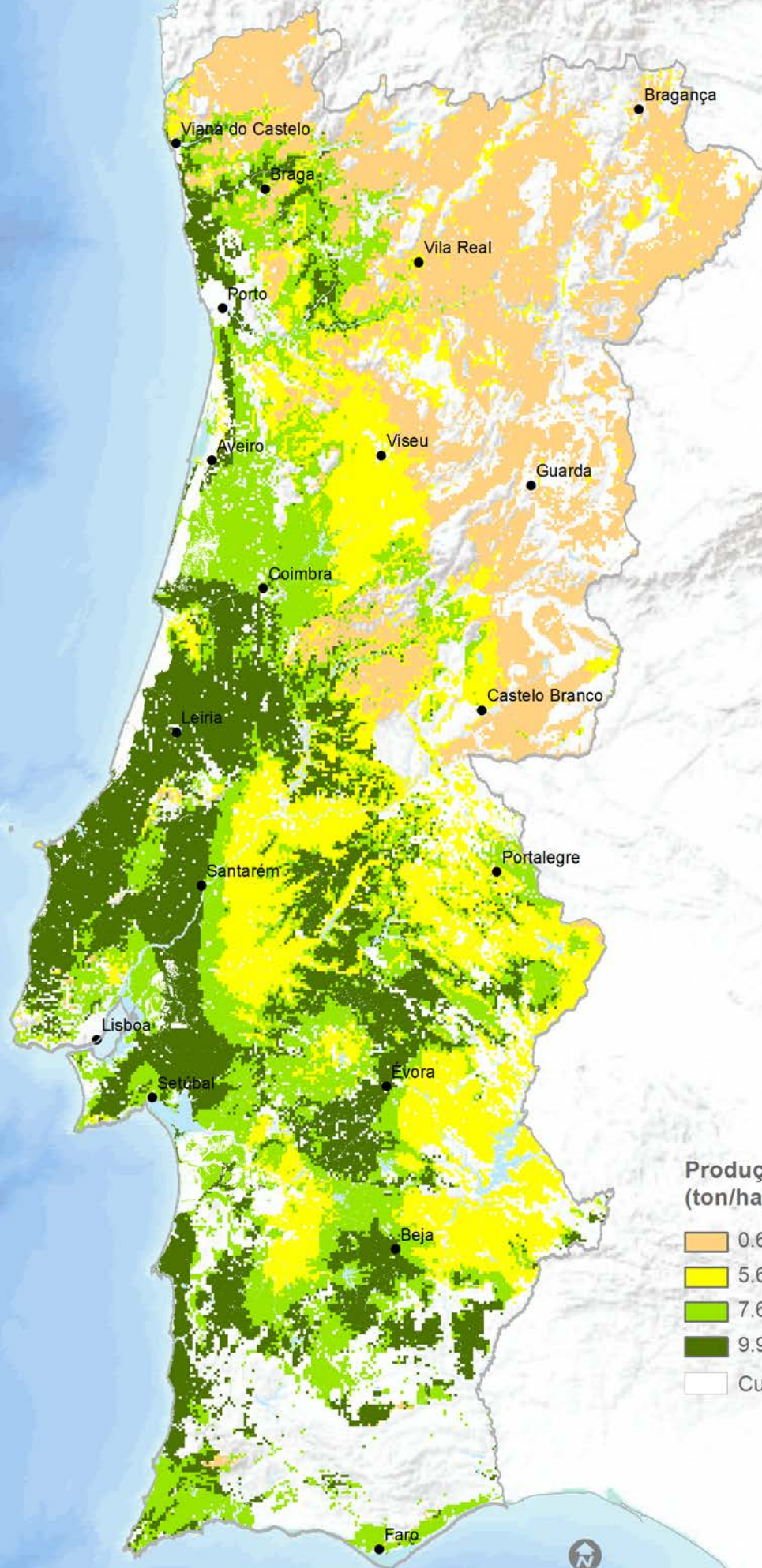
As células em branco correspondem a limitações climáticas ou edáficas à produção de trigo. No tocante ao solo, foi mesmo imposta uma condição prévia para que o modelo corresse: espessuras do solo inferiores a 30 cm foram consideradas impróprias, quer para a cultura de trigo em regadio quer em sequeiro. As razões de semelhante restrição prendem-se primordialmente com preocupações de conservação do solo e, acessoriamente, com dificuldades de mecanização. Acrescem a estas razões dificuldades na gestão da rega, no caso do regadio, e capacidade de água disponível demasiado reduzida, no caso do sequeiro em condições mediterrânicas.

Em sequeiro, as produtividades aumentam com a latitude e diminuem com a continentalidade, o que é consequência directa da relação destes factores climáticos com a precipitação e a humidade atmosférica. Por outro lado, a formação do solo, que é um fenómeno de escala temporal alargada, é também muito influenciada pela precipitação. Os solos mais profundos ocorrem, em geral, em zonas em que a água, elemento essencial à meteorização está muito presente no ataque à superfície sólida e à remoção dos elementos mais móveis da zona de alteração. Assim, parte do efeito da continentalidade sobre a produtividade é um efeito indirecto da diminuição da espessura dos solos que, em termos médios, ocorre à medida que nos afastamos da costa.

No caso do regadio, nota-se que as produtividades altas e muito altas dominam, havendo tendência a serem mais elevadas nas zonas costeiras do Centro do País. Isto ocorre devido a que a estação de crescimento é maior nestas paragens; não se tem tanta radiação como no sul mas a humidade é mais elevada, o que adianta o início da estação livre de geadas e atrasa o seu fim. As temperaturas moderadas favorecem no caso do trigo o desenvolvimento da área foliar e o crescimento do grão visto que a duração da cultura é maior, havendo mais tempo para interceptar a radiação, logo produzir mais assimilados e canalizá-los para o crescimento vegetativo e reprodutivo.

As produções maiores ocorrem precisamente em regiões que têm um nível de radiação adequado e temperaturas rondando os 18 °C durante o crescimento dos grãos, além de precipitações altas ou são regadas convenientemente. Por outro lado, os climas mais secos do interior e do sul diminuem a eficiência do uso da água sem aumentarem proporcionalmente a transpiração cultural o que resulta em produtividades comparativamente mais baixas. Note-se, que em regiões idênticas no tocante à humidade do ar, as plantas crescem mais quanto mais transpirem, o que pode acontecer devido a maiores níveis de radiação, maior disponibilidade de água no solo, ou maior velocidade do vento.

Trigo mole - *Triticum aestivum* L.
Regadio

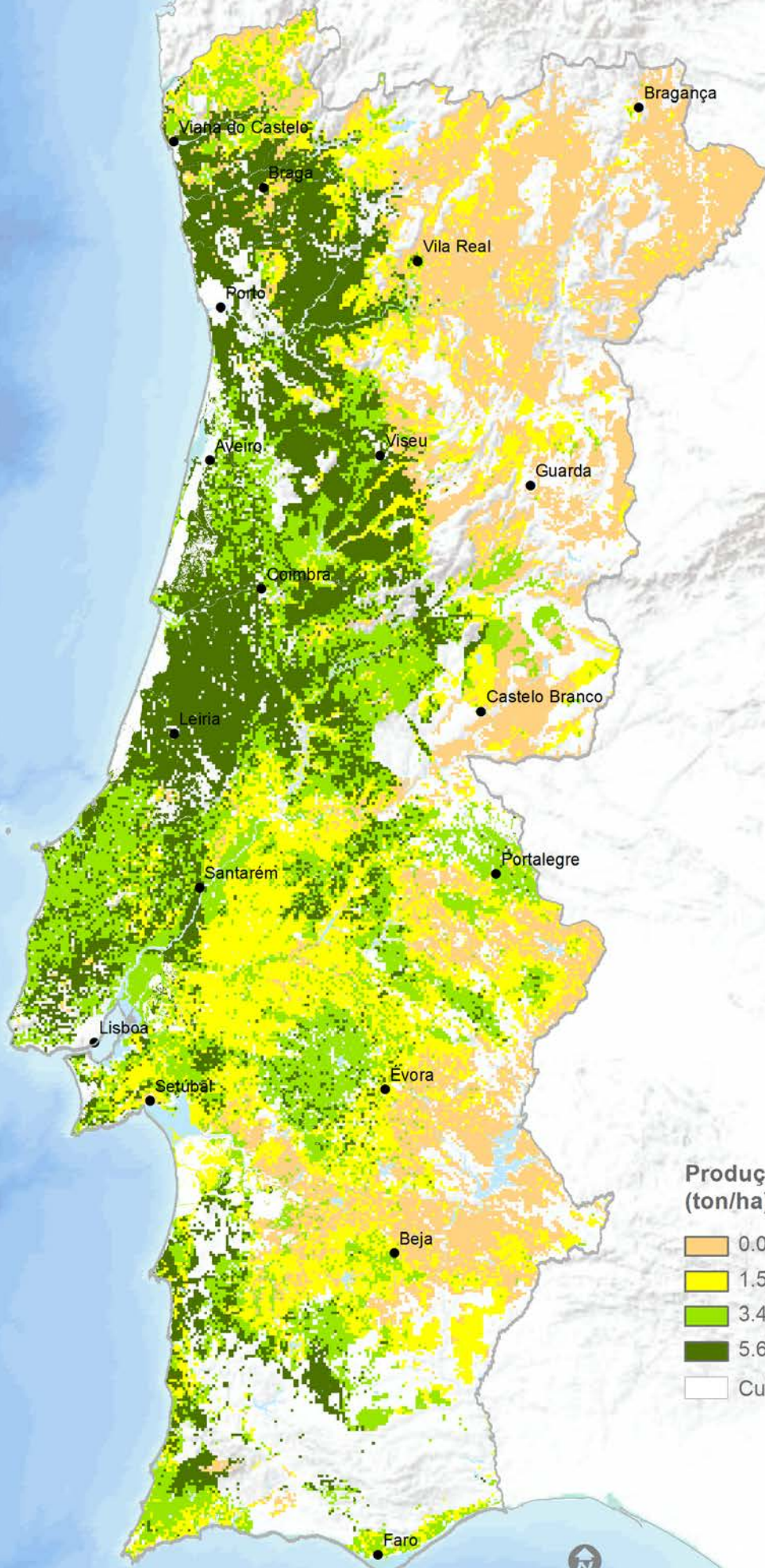


Produção potencial
(ton/ha)

- 0.66 - 5.59 - 1º quartil
- 5.6 - 7.67 - 2º quartil
- 7.68 - 9.96 - 3º quartil
- 9.97 - 12.95 - 4º quartil
- Cultura inviável



Trigo mole - *Triticum aestivum* L.
Sequeiro



Produção limitada pela água
(ton/ha)

- 0.04 - 1.55 - 1º quartil
- 1.56 - 3.45 - 2º quartil
- 3.46 - 5.66 - 3º quartil
- 5.67 - 11.24 - 4º quartil
- Cultura inviável



Cevada (*Hordeum vulgare* L.)

A cevada (Figura 11 e Figura 12) é uma espécie C_3 , que em Portugal é cultivada, geralmente, como uma cultura de inverno. A cevada que é simulada, neste estudo, é a cevada dística para malte de sementeira invernal. Distingue-se do trigo pelo facto de muitas cultivares terem resposta fotoperiódica. Toda a análise que foi feita para o trigo é também válida para a cevada. As produtividades são ligeiramente mais baixas tal como seria de prever, devido às características culturais. Esta diferença é também patente nos recordes mundiais de produção em explorações comerciais que foram alcançados na Nova Zelândia (15,6 t/ha para o trigo e 13,8 t/ha para a cevada).

Milho (*Zea mays subsp. mays* L.) e sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench)

O milho (Figura 13 e Figura 14) e o sorgo (Figura 15 e Figura 16), plantas C_4 , são culturas muito exigentes em temperatura e que além de serem drasticamente afectadas pelas geadas são até afectadas por temperatura positivas, pois estão sujeitas a danos por resfriamento. Nas condições ideais as plantas C_3 tendem a ter uma eficiência do uso da radiação (RUE) e eficiência do uso da água (WUE) mais elevadas do que as plantas de metabolismo do tipo C_3 .

O milho e o sorgo simulados são culturas de primavera para grão. O milho tem RUE em condições ideais de temperatura que são superiores ao do sorgo e é menos exigente em temperatura do que o sorgo. Assim se justifica as maiores produções simuladas, tanto no regadio como no sequeiro. As grandes manchas em que estas culturas não se apresentam viáveis, no interior e no sul, correspondem a situações em que estas culturas, quando semeadas na Primavera e com tecnologia de elevado nível, têm produções muito baixas ou nulas. Na maioria dos casos, em sequeiro, a falta de água para completar o ciclo de crescimento é responsável por aquelas manchas, mas nas células de maior altitude, quer no regadio quer no sequeiro, a estação de crescimento é demasiado curta para que se complete o ciclo, devido às geadas e temperaturas demasiado baixas. O efeito da estação curta faz-se sentir ainda mais no caso do sorgo, visto que é muito sensível a temperaturas positivas baixas, já sem falar nas geadas, o que atrasa a sua data de plantação no norte e no interior do País.

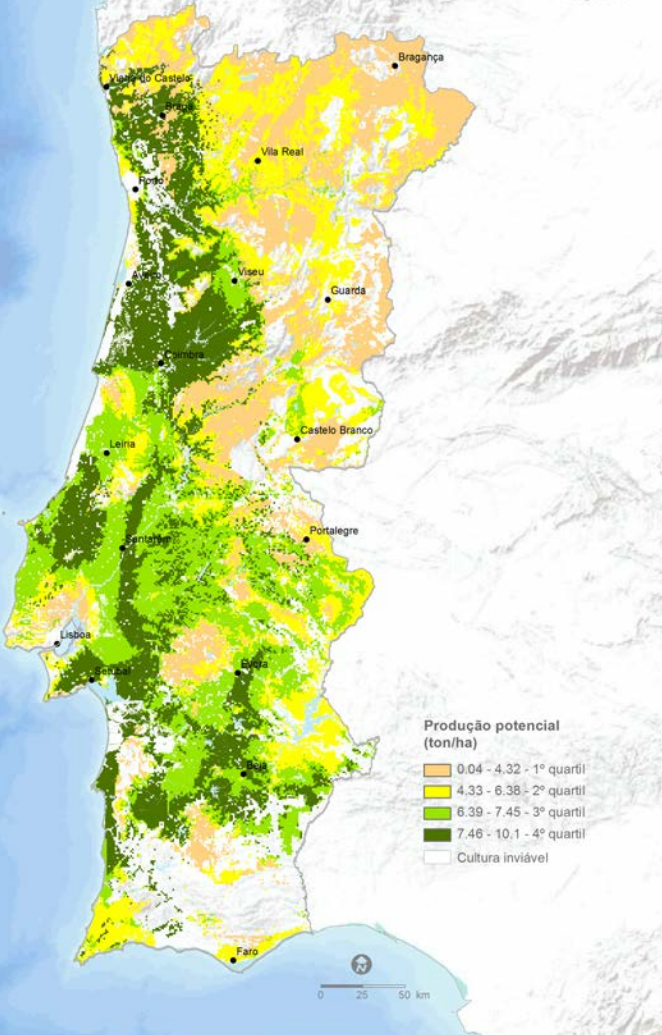
Girassol (*Helianthus annuus* L.)

O girassol (Figura 17 e Figura 18) é uma oleaginosa de metabolismo C_3 cultivada em Portugal na primavera. A sensibilidade do girassol à escassez de água é mais elevada do que a sensibilidade dos cereais. Relativamente ao milho e ao sorgo, plantas C_4 , a sensibilidade do girassol às temperaturas elevadas é superior. Por outro lado, a eficiência de conversão dos assimilados em grão é muito mais baixa, devido ao elevado teor em óleo. Assim, as produções de semente são bastante mais baixas do que seria de esperar para os cereais. Pode surpreender o facto de as produções mais elevadas no regadio ocorrerem em zonas costeiras, preferencialmente no norte e centro. No entanto, isto ocorre primordialmente devido a quatro razões: (1) temperaturas durante o dia na faixa óptima para a cultura (25-35 °C) aumentam a RUE; (2) temperaturas amenas durante a noite diminuem as perdas de assimilados por respiração; (3) humidades mais altas favorecem a WUE; (4) as zonas costeiras tendem a ter estações de crescimento mais alargadas, visto que as geadas começam mais tarde e acabam mais cedo, o que favorece a escolha de variedade de ciclo mais longo que são, geralmente, mais produtivas.

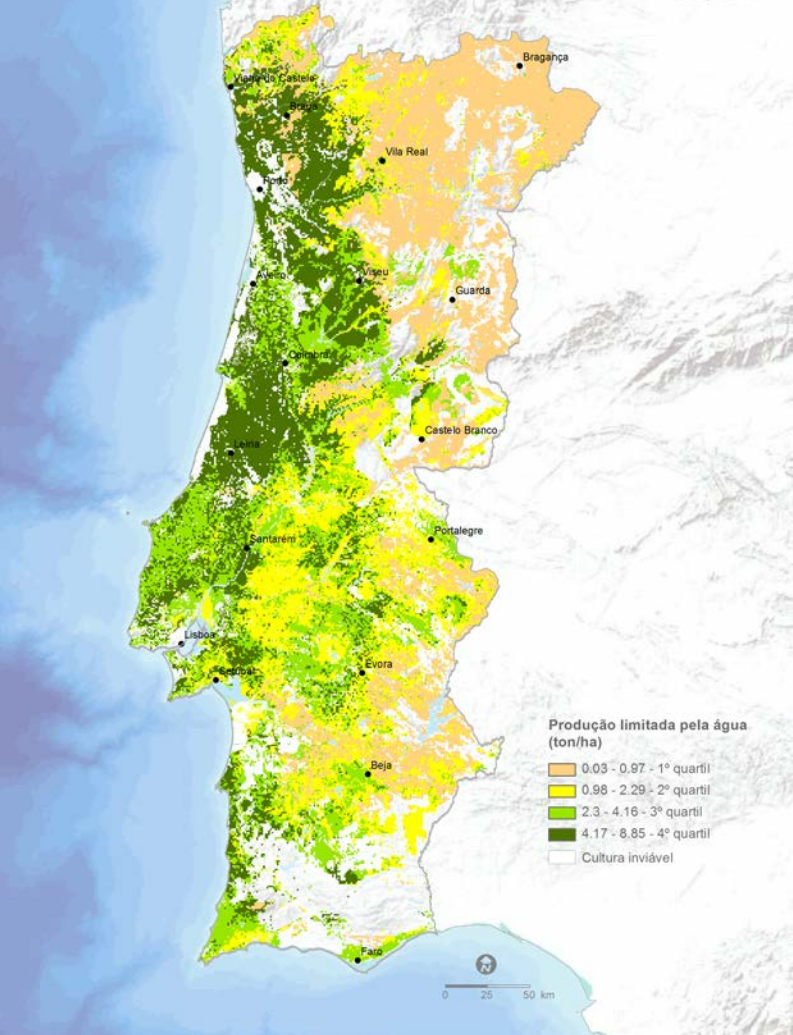
Arroz (*Oryza sativa* L. ssp. *japonica*)

O arroz em Portugal cultiva-se nos vales do Sado, Tejo e Sorraia, e Mondego (Baixo) com rega por alagamento. As simulações foram feitas para o arroz carolino (cv. Ariete), que é o tipo de arroz mais produzido em Portugal e as produtividades referem-se ao arroz em casca. A produtividade média do arroz em casca é de pouco menos de 6 t/ha. Embora faça pouco sentido apresentar a cultura em zonas sem tradição, existe a possibilidade de fazer a cultura com tecnologia apropriada, incluindo a construção de socalcos. Por isso, apresentamos os resultados (Figura 19) em que se pode ou poderá fazer esta cultura. Como se pode ver as simulações apontam para que a produtividade mais elevada possa ocorrer no Centro do País, o que não seria de espantar devido ao efeito adverso que altas temperaturas e humidades baixas têm na eficiência do uso da radiação e da água.

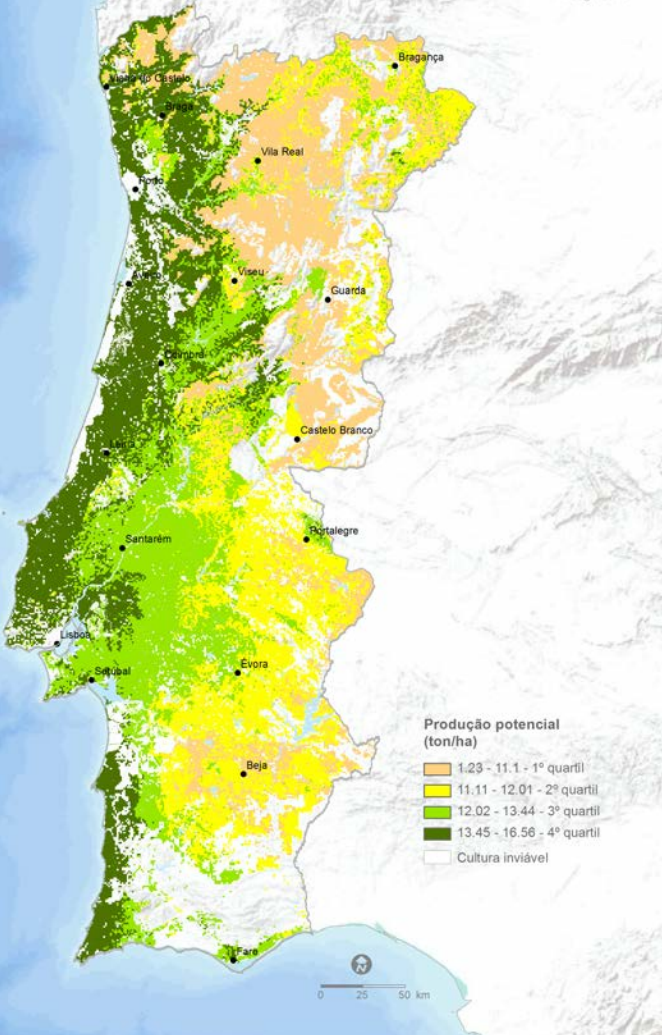
Cevada - *Hordeum vulgare* L.
Regadio



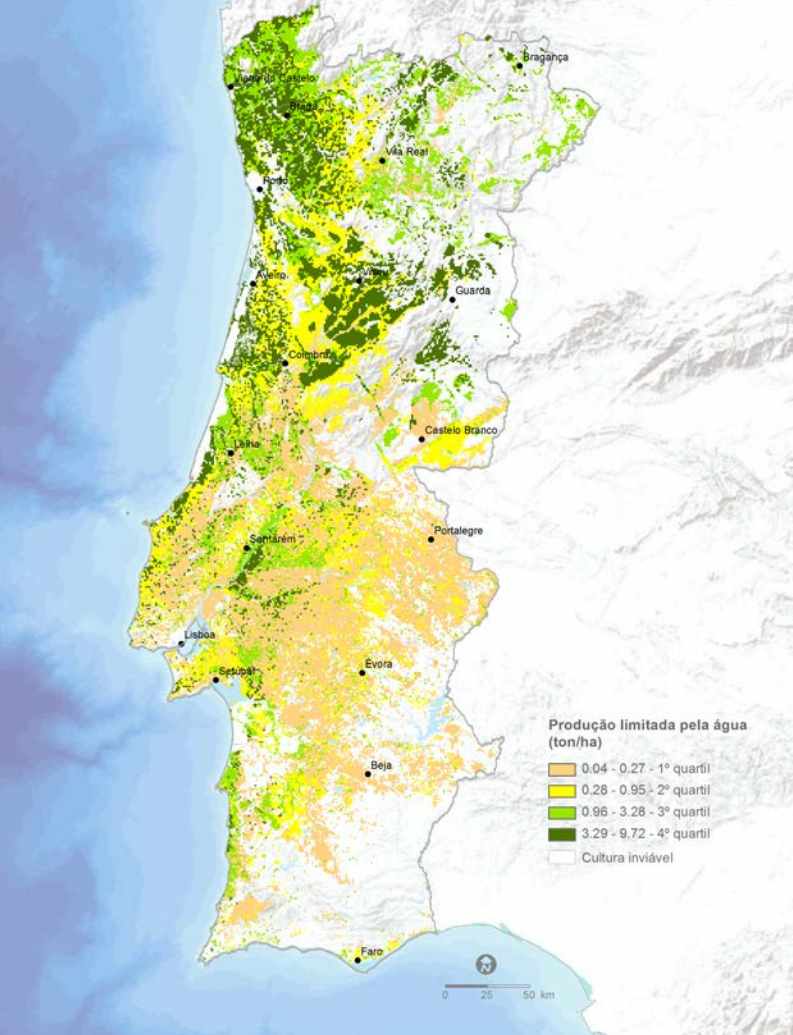
Cevada - *Hordeum vulgare* L.
Sequeiro



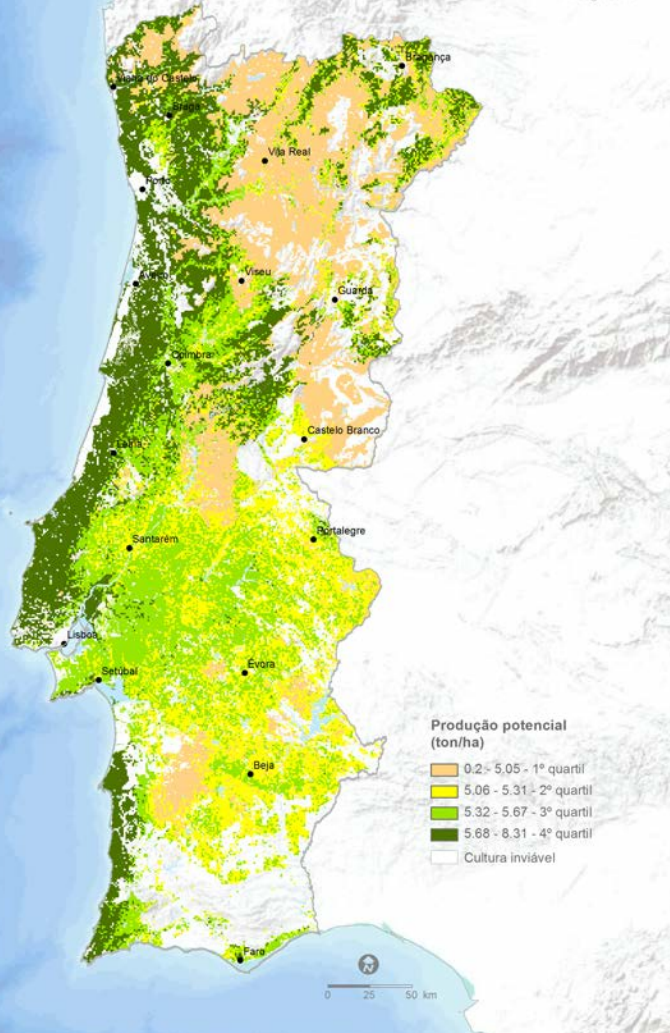
Milho - *Zea mays subsp. mays* L.
Regadio



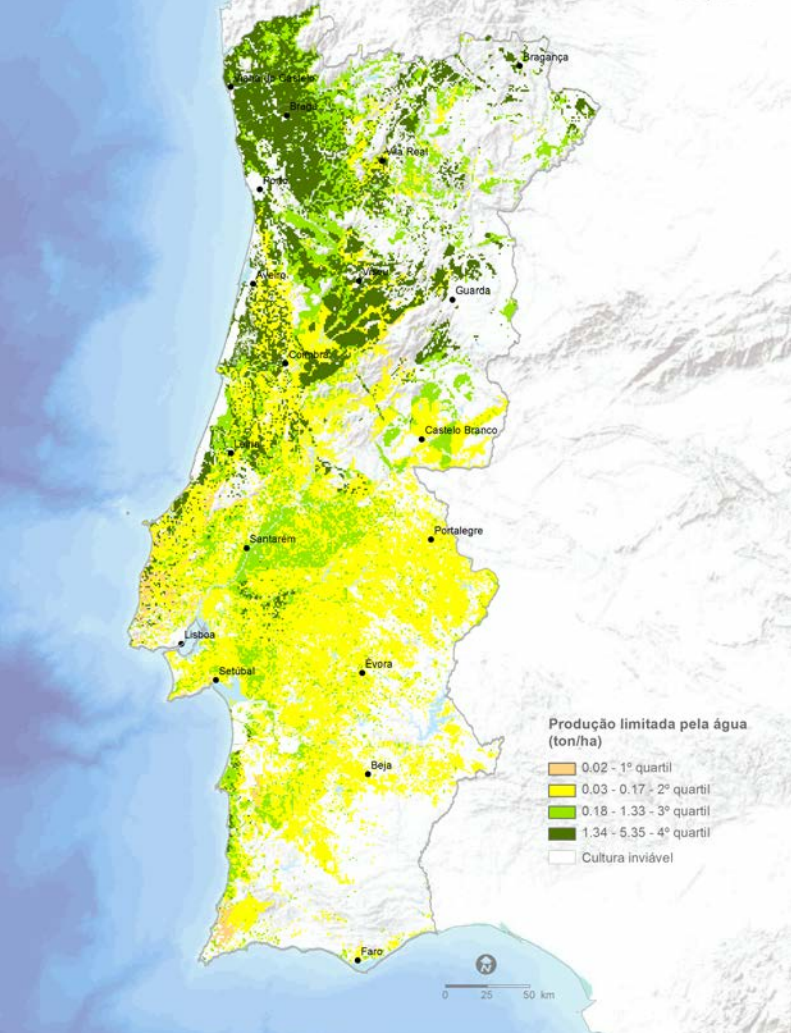
Milho - *Zea mays subsp. mays* L.
Sequeiro



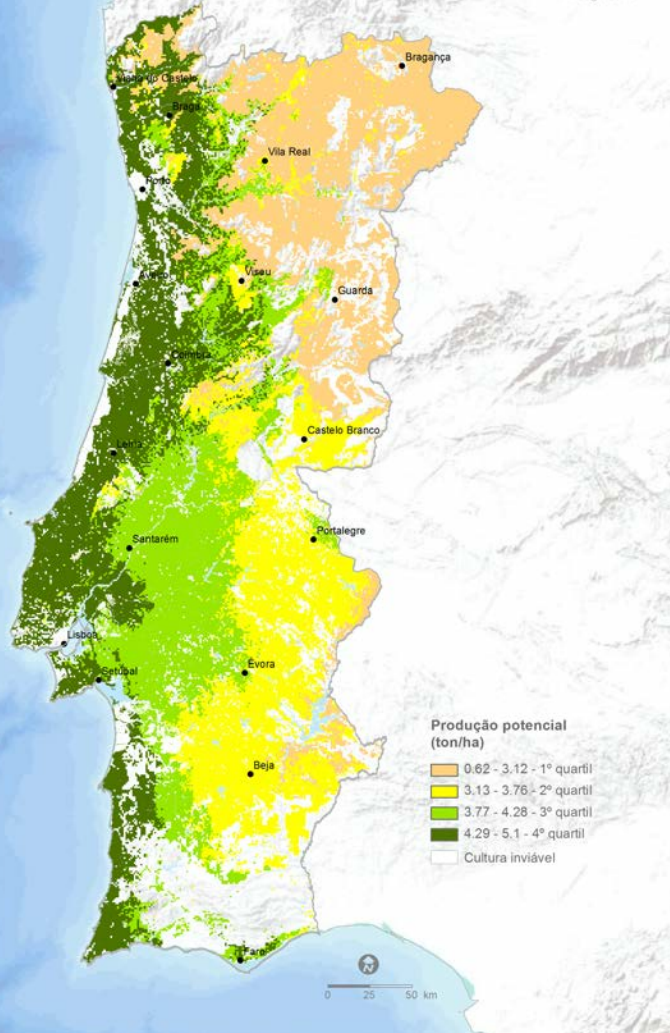
Sorgo - *Sorghum bicolor* (L.) Moench
Regadio



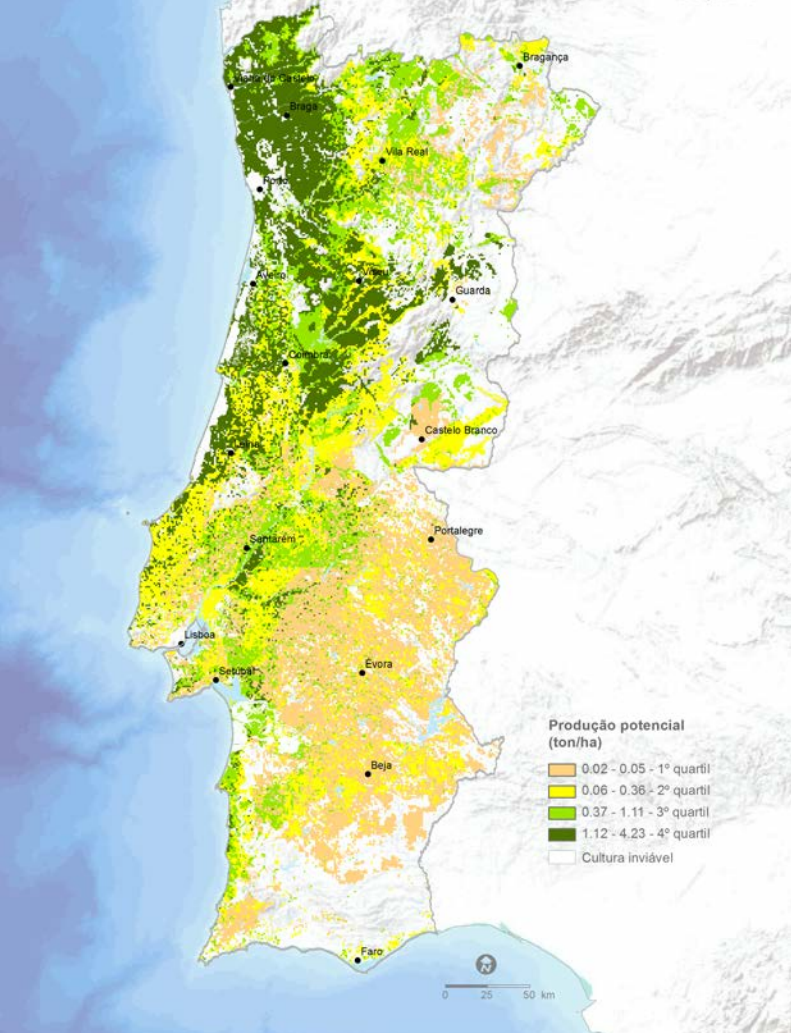
Sorgo - *Sorghum bicolor* (L.) Moench
Sequeiro



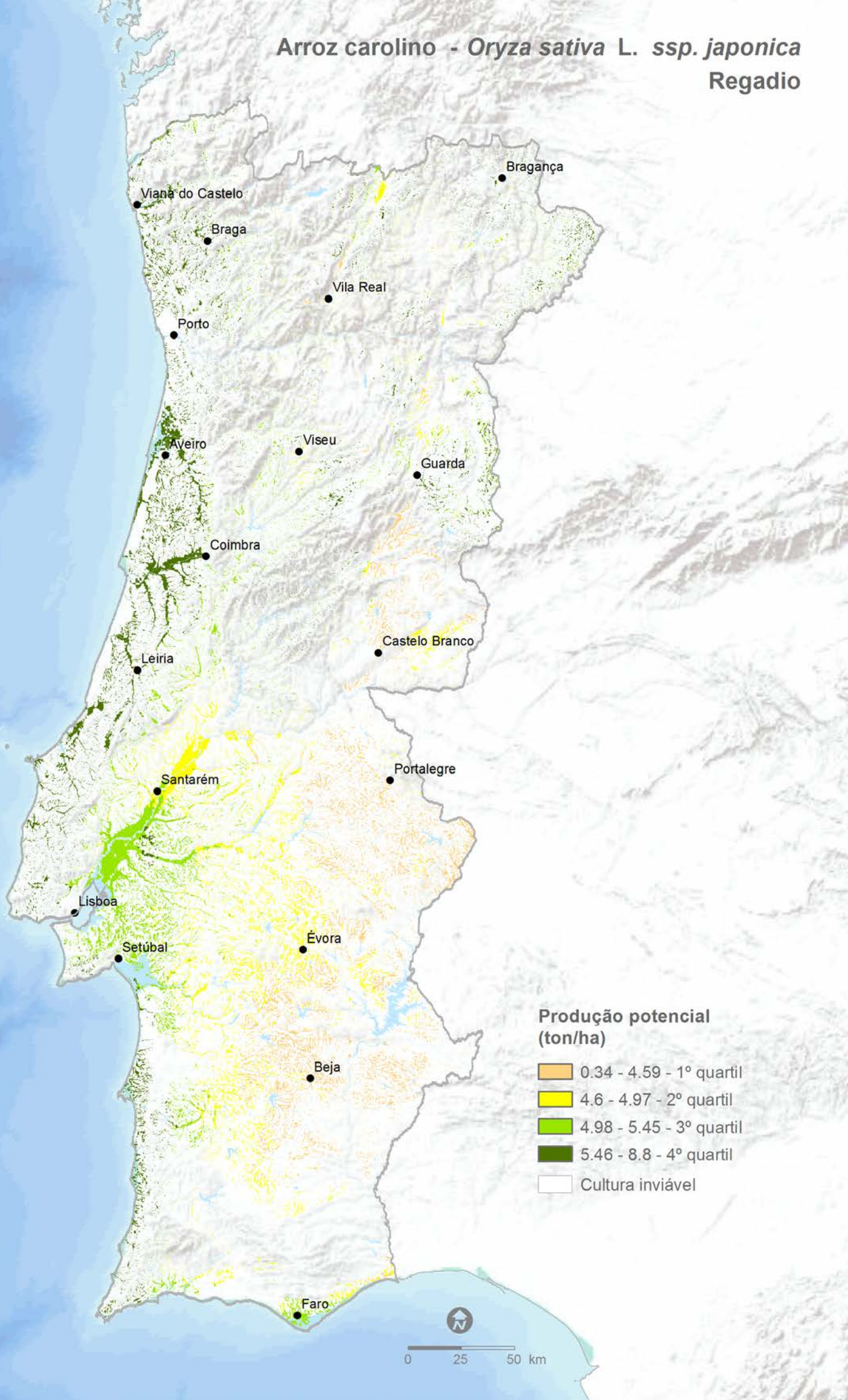
Girassol - *Helianthus annuus* L.
Regadio



Girassol - *Helianthus annuus* L.
Sequeiro



Arroz carolino - *Oryza sativa* L. ssp. *japonica*
Regadio



Couve Brócolo (*Brassica oleracea* L. var. *italica* Plenck) e Alface (*Lactuca sativa* L.)

A couve-brócolo (Figura 21) e a alface (Figura 22) são de metabolismo do carbono do tipo C₃, sensíveis na fase final do ciclo às temperaturas elevadas, para que se evite a degradação da qualidade do produto. As plantas são dadas como transplantadas com 4 ou 5 folhas verdadeiras. Embora a couve brócolo seja uma planta bienal, em produção industrial é, geralmente, cultivada como anual de plantação outonal (ou fim do Verão) ou primaveril (ou fim do Inverno). Em ambos os casos, o número de culturas por ano foi o que na célula é permitido devido às condições edafo-climáticas, até um máximo de quatro. O período estival em que as temperaturas são superiores a 24/25°C é considerado impróprio para a fase de formação da inflorescência/repolho. Note-se também que as geadas afectam mais a alface do que a couve brócolo o que explica algumas diferenças de comportamento entre ambas as culturas. O modelo calcula o número de plantações possíveis na célula, para que todas as culturas completem o seu ciclo, e faz a replantação a partir de 10 dias após o fim da cultura anterior. A produtividade cartografada é o valor que corresponde à soma de todas as culturas simuladas durante a estação de crescimento. Embora ocorram variações importantes, elas podem parecer surpreendentemente baixas. No entanto, a estrutura da produção é muito diferente: número de culturas e época em que se desenvolvem e cultivares mais indicadas.

No norte e centro litoral, as produtividades das culturas individuais podem ser mais baixas, devido à menor luminosidade, mas podem ser feitas quase todo o ano e prolongar-se em alguns caso até ao fim do Verão devido à temperatura ser mais amena. Havendo a possibilidade de se fazerem duas, ou mesmo três ou quatro, culturas sucessivamente. No litoral alentejano a situação não é, em geral, muito diferente, excepto no tocante à luminosidade. Por outro lado, no interior ocorrem geadas que podem impedir a cultura invernal de ambas as espécies e os dias de Verão quando ultrapassam os 24/25°C podem comprometer uma produção de qualidade. Assim, nas plantações feitas no fim do inverno/início da primavera devem ser feitas logo que a temperatura do solo o permita e a última colheita deverá ser feita antes que a temperatura se torne demasiado alta. Nestes casos, pode a estação de crescimento ser demasiado curta para se fazerem duas culturas e haver conveniência em se fazer uma com uma variedade de ciclo vegetativo mais longo.

Tomate (*Solanum lycopersicum* L.) e melão (*Cucumis melo* L.)

As culturas do tomate (Figura 23) e do melão (Figura 24) são culturas exigentes em temperatura, muito sensíveis à geada e mesmo às baixas temperaturas positivas. As simulações correspondem a culturas em regadio, em campo aberto, com espaçamentos considerados médios para as regiões em que se cultivam em Portugal, sendo as plântulas transplantadas na primavera. Temperaturas e demasiado altas na fase floração e durante a maturação podem afectar a qualidade da produção.

As simulações indicam que, em geral, as maiores produtividades de tomate, considerando apenas uma cultura por ano, ocorrem no litoral devido ao facto de se poder utilizar cultivares de ciclo mais longo, pois a cultura pode ser implantada mais cedo, devido à menor incidência de geadas, e a colheita pode ser feita mais tarde, visto que não se verificam grandes calores estivais. Além disso, os menores défices de saturação, que se verificam no litoral aumentam a eficiência do uso da água. No caso do melão, existe maior necessidade de calor durante a maturação (ótimo 25-30°C), enquanto que durante a maturação do tomate a temperatura ótima está entre 15°C e 22°C. Assim, as zonas mais frescas do litoral centro e norte são mais favoráveis para uma produção de tomate de qualidade do que de melão, o que também se reflecte em menores produtividades de melão naquelas zonas.

Pimento (*Capsicum annuum* L.)

O pimento (Figura 25) ao ar livre para fins industriais é uma cultura de metabolismo C₃ cultivada na Primavera. Exigente em temperatura e muito sensível às geadas, sofre escaldão quando os frutos expostos recebem níveis de radiação muito elevados e abortamento de flores quando as temperaturas são superiores a uns 32°C. Esta cultura existe em grande escala no Ribatejo, Oeste e Alentejo. Nos mapas nota-se que as temperaturas demasiado elevadas e as humidades baixas penalizam a cultura, podendo os máximos de produtividade estarem fora das zonas mais expressivas em termos de área cultivada.

Cebola (*Allium cepa* L.)

A cultura da cebola (Figura 26) em Portugal é uma cultura que pode ser semeada/plantada no Outono e cuja colheita se faz no fim da Primavera ou pode ser semeada/plantada na Primavera/Verão e ser colhida no Verão. A cebola para conservação resulta, normalmente, desta última época de crescimento. As simulações consideraram que a utilização é de bolbo seco, que uma única cultura é feita, que a planta é transplantada logo que o solo tenha temperatura suficiente ($> 6^{\circ}\text{C}$), utilizando uma cultivar que esteja no terreno o mais tempo possível, mas antes que as temperaturas sejam excessivas para o desenvolvimento do bolbo.

Nos mapas nota-se que as temperaturas demasiado elevadas e as humidades baixas penalizam a cultura.

Batata (*Solanum tuberosum* L.)

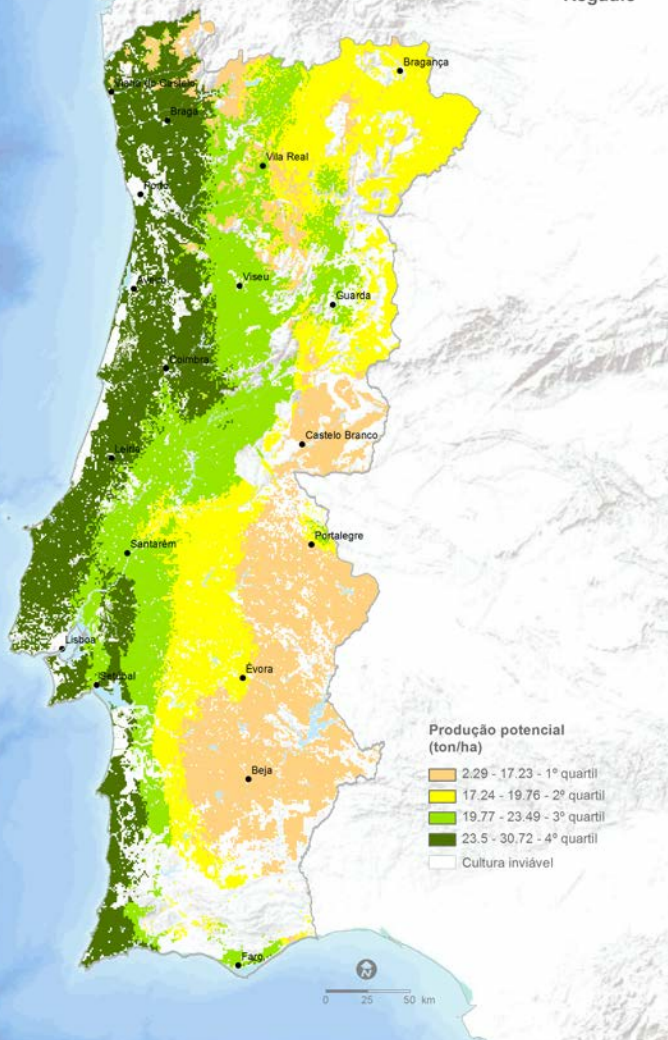
A batateira (Figura 20 e 27) é uma planta C_3 que pode ser plantada quando a temperatura do solo é superior a cerca de 7°C , sendo a época de desenvolvimento escolhida de acordo com a aptidão de utilização. As simulações foram feitas para a batata de conservação de regadio que é plantada no fim do inverno ou no princípio da primavera e colhida no fim do verão ou no início do outono, de acordo com o clima da região. A sementeira deve ser o mais precoce possível, logo que a temperatura do solo o permite e a probabilidade da ocorrência de geadas é suficientemente baixa. As folhas da batateira sofrem geladura quando a temperatura é inferior a -2°C até -4°C , dependendo da cultivar e da concentração de bactérias nucleadoras nas suas superfícies. Temperaturas médias diárias superiores a 25°C prejudicam o crescimento dos tubérculos, devido ao abaixamento da taxa de fotossíntese e ao aumento da respiração de manutenção. Os solos pedregosos e de espessura reduzida não são apropriados para esta cultura. Neste estudo foi imposto um limite mínimo de 0,3 m para a espessura do solo.

Os comentários que serão feitos relativamente à distribuição da produtividade da beterraba são genericamente válidos para a cultura da batata. No entanto, o número de células em que a cultura pode medrar é muito superior, devido ao facto do limite mínimo de espessura do solo ser inferior e o ciclo cultural mínimo ser mais curto do que o ciclo cultural mínimo da beterraba. Na interpretação dos resultados, não se pode perder de vista que as distâncias interquartis são diferentes de cultura para cultura.

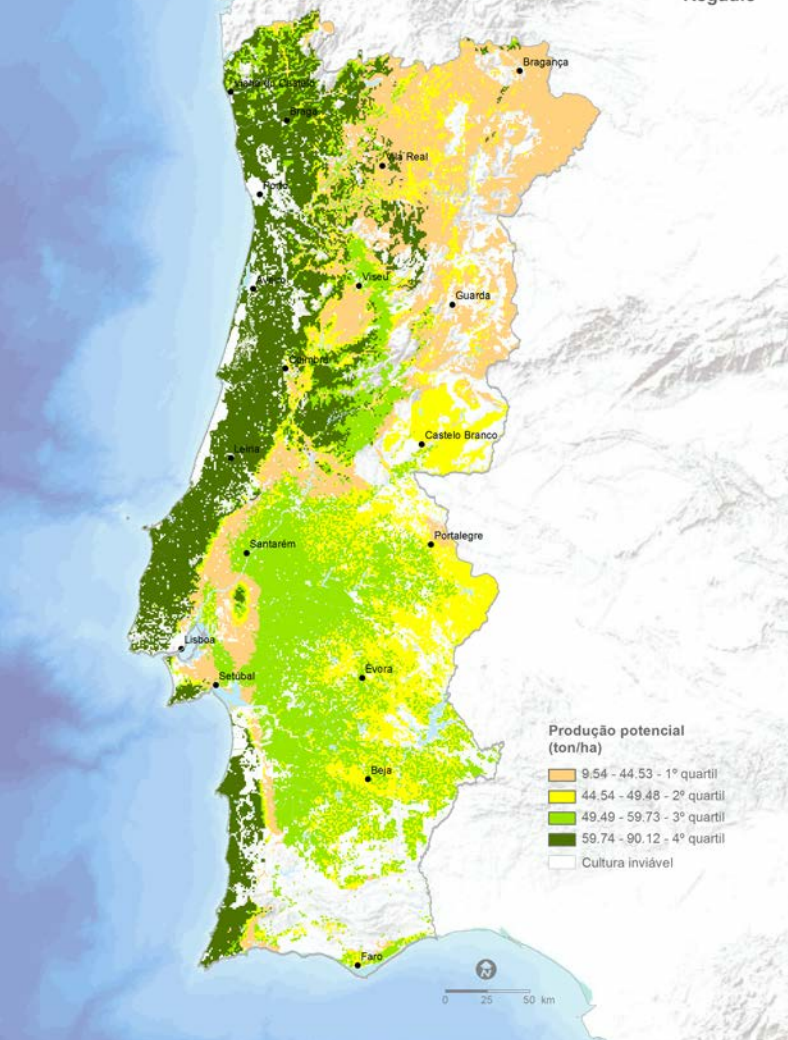


Figura 20 - Produção de batata, Barroso.

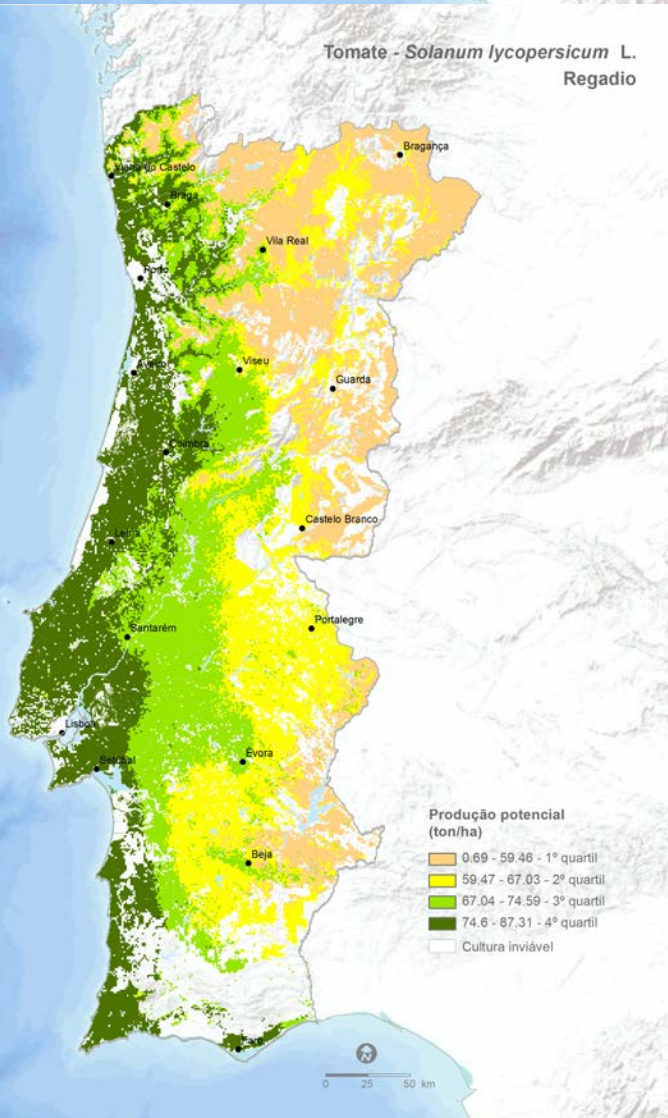
Couve brócolo - *Brassica oleracea* L. var. *italica* Plenck
Regadio



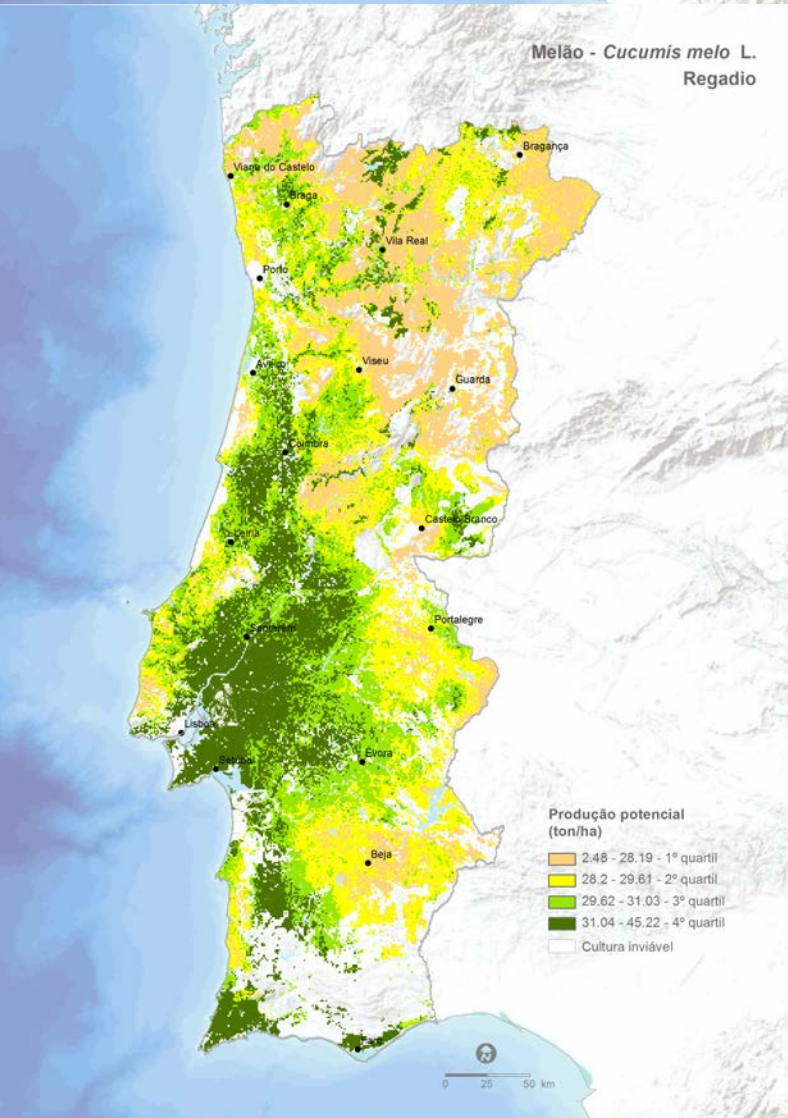
Alface - *Lactuca sativa* L.
Regadio



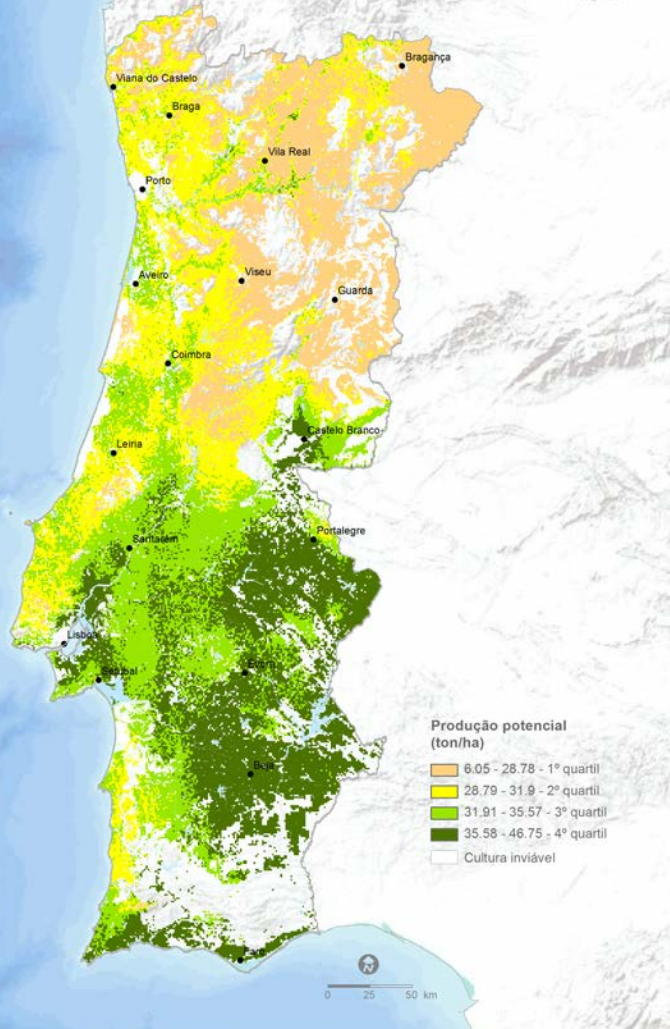
Tomate - *Solanum lycopersicum* L.
Regadio



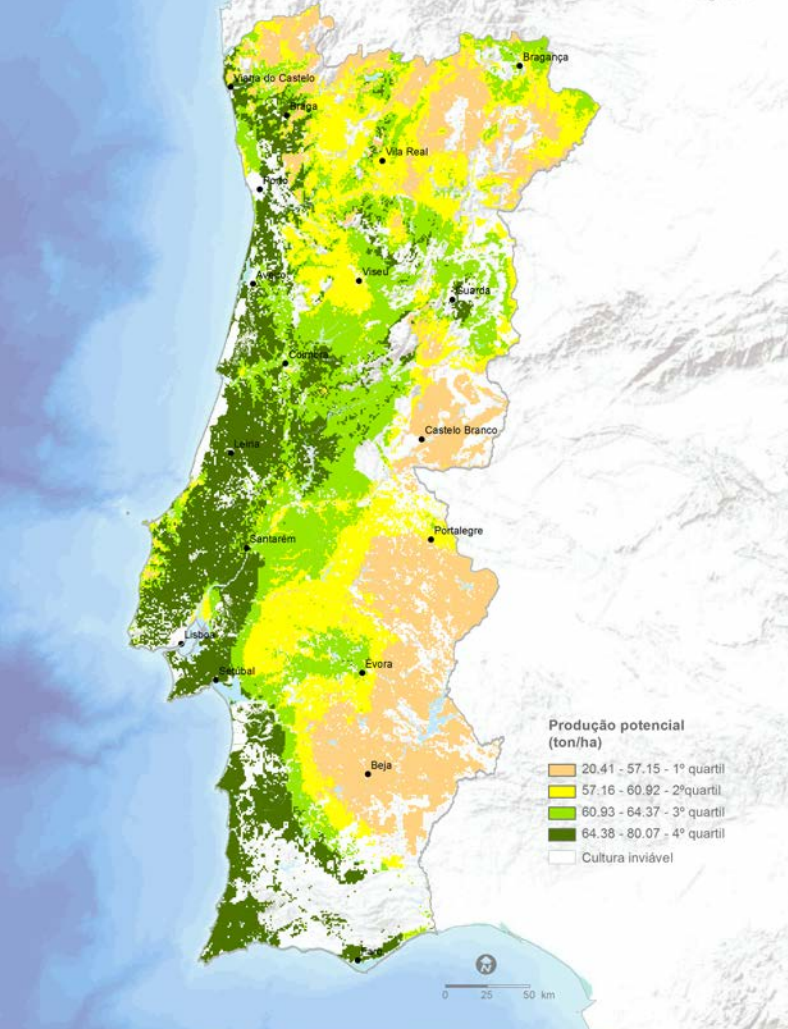
Melão - *Cucumis melo* L.
Regadio



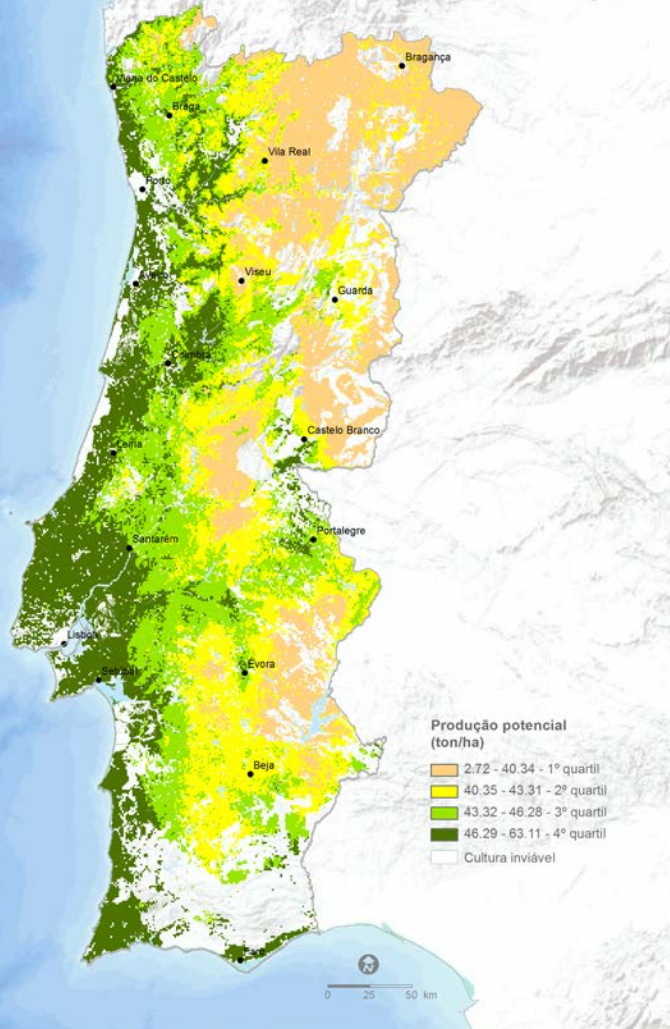
Pimento - *Capsicum annuum* L.
Regadio



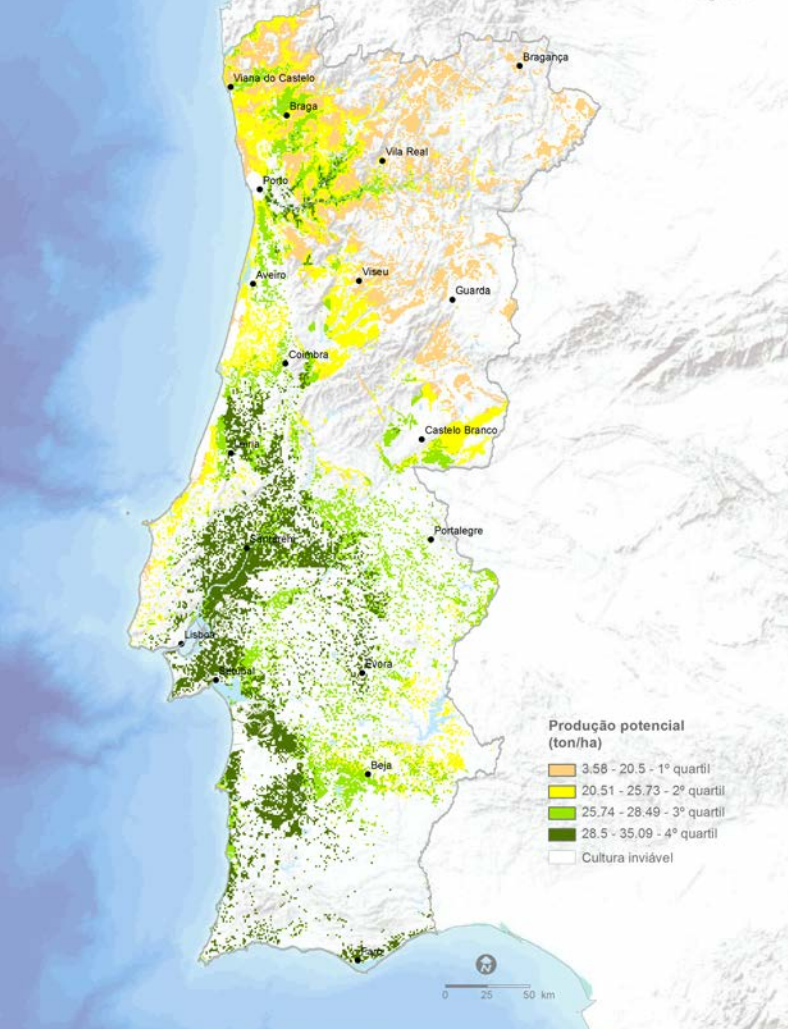
Cebola - *Allium cepa* L.
Regadio



Batata - *Solanum tuberosum* L.
Regadio



Batata doce - *Ipomoea batatas* (L.) Lam.
Regadio



Batata-doce (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.)

A batata-doce (Figura 28) é uma planta C_3 , muito exigente em temperatura, sofrendo danos por resfriamento e sendo muito sensível às geadas. A plantação deve ser feita na primavera quando a temperatura do solo ultrapassa os 14°C. Quando a água é abundante e as noites são frescas, temperaturas durante o dia de até 38°C não prejudicam esta cultura. A colheita tem de ser feita antes da ocorrência de geadas e de chuvadas frias. Em Portugal Continental, na generalidade dos casos, a cultura é conduzida em regadio.

Os solos pedregosos, de espessura baixa ou mal drenados não lhe são favoráveis, pelo que consideramos que solos com alguma destas características e espessuras inferiores a 0,4 m não são susceptíveis de serem cultivados com batata-doce.

Em termos climáticos, as produtividades no interior norte e centro estão limitadas, visto que a estação livre de geadas é mais curta, as temperaturas favoráveis limitam ainda mais a estação de crescimento e as humidades atmosféricas são mais baixas. Junto ao litoral, o clima geralmente é demasiado fresco. Por fim, a baixa espessura do solo impossibilita a cultura em muitas células.

Beterraba sacarina (*Beta vulgaris* L.)

A beterraba sacarina (Figura 30) é uma planta C_3 que tem sementeira no outono-inverno ou na primavera, e que, na generalidade dos casos, tem de ser feita em regadio. As folhas são sensíveis às geadas (Snyder & De Melo-Abreu, 2005) pelo que a cultura invernal fica limitada às regiões com invernos amenos e não pode ser feita demasiado cedo, para evitar que haja acumulação de frio, o que conduz à entrada em floração (espigamento) resultando numa redução da produção e de qualidade do produto. A temperatura elevada na fase de crescimento da raiz tuberosa, por outro lado, reduz a assimilação e a taxa de acumulação de açúcares, baixando a produtividade e o teor de sacarose. Note-se que temperaturas acima de 35°C nesta fase podem até “cozer” a raiz, inutilizando-a. Assim, no verão do sul e interior a cultura não pode estar no terreno no auge desta estação.

Os solos de espessura baixa e mal drenados não lhe são favoráveis, pelo que consideramos que solos com espessuras inferiores a 0,4 m não são susceptíveis de serem cultivados para a produção de beterraba sacarina.

O modelo indica que as produções mais elevadas são nas regiões litorais, especialmente no norte e no centro. Mas outras regiões onde existe/existiu a cultura da beterraba (Ribatejo e Alentejo) têm produções previstas aceitáveis.

Feijão (*Phaseolus vulgaris* L.)

A cultura do feijão (Figura 31) para grão, de metabolismo do carbono do tipo C_3 , é uma cultura semeada na primavera, quando a temperatura do solo é superior a 14°C, geralmente em regadio, e que se desenvolve no período livre de geadas. As temperaturas superiores a 25°C começam a ser desfavoráveis para a fotossíntese e conduzem a perdas elevadas de assimilados por respiração, mas é acima de 35°C as plantas são gravemente afectadas.

As simulações foram feitas para feijão rasteiro, determinado, com rega. Nos mapas nota-se que as zonas mais geladas, com temperaturas demasiado elevadas no verão e as humidades atmosféricas baixas penalizam a cultura. Assim, o litoral atlântico é a zona de excepção para esta cultura.

Morango (*Fragaria x ananassa* Duch.)

A cultura do morango (Figura 32), que tem metabolismo do carbono do tipo C_3 , pode ser produzido em cultura plurianual, mas em cultura industrial, quando cultivada ao ar livre, é cultivada como anual, e é plantada no outono, utilizando plantas frescas. Pode também, quando se utilizam plantas frigo, fazer a plantação no verão e colher no outono. Na fase vegetativa, a cultura é muito resistente às geadas, mas na floração, vingamento e crescimento do fruto não pode estar sujeita a geadas. A polinização e vingamento dos frutos são prejudicados a temperaturas inferiores a 12°C. Embora haja plantas indiferentes ao fotoperíodo, há cultivares que são de dias-curtos e outras que são de dias-longos. Muitas cultivares também têm necessidades de vernalização. Note-se que existe uma tendência de substituir estes sistemas por sistemas sem solo, dada a sua comodidade.

Neste estudo, a cultura é plantada no outono de molde a que a floração ocorra já na estação livre de geadas e a colheita se faça antes da ocorrência de grandes calores estivais. Admitiu-se que as necessidades de frio para a quebra da dormência e o fotoperíodo são adequados. A cultivar é a mais longa possível para a célula em causa, tendo em conta as condicionantes climáticas.

Os mapas mostram que a temperatura limita a expansão temporal e espacial da cultura com plantação outonal. Em vastas áreas do norte do País, a cultura tem fraca viabilidade visto que as cultivares existentes florescem antes que a probabilidade de ocorrência de geadas seja suficientemente baixa, o que pode estar conjugado ou não com temperaturas demasiado elevadas no verão, e pode ocorrer, também, que a temperatura para uma boa maturação (entre 18°C e 27°C) possa não ser atingida em grande parte deste processo. As regiões que são unanimemente consideradas mais apropriadas para a cultura são as regiões em que o modelo indica produtividades mais elevadas.

As produções potenciais apontadas podem parecer demasiado optimistas. Efectivamente, a generalidade dos produtores poderão não acreditar nestes números, mas experiências nacionais, embora apresentem valores um pouco mais baixos, confirmam esta possibilidade (Palha, comunicação pessoal). Por outro lado, uma pesquisa feita sobre resultados de campo na Califórnia indica uma produção média de 55t/ha. Assim, as produções potenciais simuladas podem ser uma indicação útil de que estas produtividades podem ser alcançadas em áreas privilegiadas de Portugal.

Pêra (*Pyrus communis* L.)

A pereira (Figura 29 e 33) é uma fruteira caducifólia com metabolismo de carbono do tipo C₃, que tem necessidades de frio substanciais e que pode ser afetada pelas geadas inverniais, mas são, sobretudo, afectadas quando a temperatura do ar desce abaixo dos -2,7°C durante a floração e nas primeiras fases do desenvolvimento do fruto (De Melo-Abreu *et al.*, 2005; Snyder & De Melo-Abreu, 2005).

O CSS_Zoner quando aplicado a fruteiras caducifólias mantém-se inalterado, havendo apenas algumas subrotinas que são chamadas neste caso e que não são chamadas no caso das culturas arvenses e o oposto. Por exemplo, o objecto CropAdapter, no caso das culturas perenes não utiliza as subrotinas relativas à escolha da data de plantação, iniciando as simulações da cultura sempre no dia 1 de Outubro do ano anterior ao ano da produção. Isto permite-lhe entrar com a subrotina que simula a acumulação de frio e estima o dia da queda da dormência. É esta data que vai ser utilizada pelo objecto Canopy como data de sementeira/plantação sendo o tempo térmico da forçagem, considerado um parâmetro equivalente ao tempo térmico necessário para a fase que medeia entre a sementeira/plantação e a emergência. Então, o abrolhamento toma o lugar da emergência, seguindo-se posteriormente o curso geral. Outro exemplo, que ilustra como a arquitectura do modelo é suficientemente genérica para abarcar o caso das plantas perenes, refere-se ao processo de intercepção da radiação. A extinção exponencial da radiação só é aplicável quando a distribuição dos fitoelementos é aleatória, o que obviamente não ocorre num pomar intensivo ou superintensivo, em que as plantas formam no limite uma sebe. Esta situação é tratada no modelo complexo assumindo que as plantas estão posicionadas num espaço 3-D, que no caso da sebe pode ser reduzido ao caso 2-D, sendo as árvores envoltas em envelopes. Dentro destes envelopes, então, pode-se considerar que a extinção é exponencial ou complicar ainda mais o problema, subdividindo a copa das árvores em subcopas. Estas abordagens são obviamente incompatíveis para um modelo do tipo do CSS_Zoner, mas a abordagem contemplada neste modelo pode ser utilizada. Assim, assume-se que a extinção ao nível diário pode ser exponencial, mas utiliza-se uma função empírica, que utiliza as saídas do modelo complexo, que permite calcular um factor de agrupamento que se multiplica pela área foliar.

A parametrização do modelo sumário foi feita por comparação com as saídas dum modelo complexo de crescimento e produção da pera 'Rocha' que já foi calibrado e validado (De Melo-Abreu *et al.*, 2015). Posteriormente o modelo foi validado numa extensa base de dados que abrangem seis anos e muitas modalidades e condições distintas (poda, inclinação dos eixos, rega, densidade de plantação, idade das plantas, carga de frutos).

As simulações referem-se ao caso de um pomar intensivo de 10 anos de idade, com 3600 plantas por hectare, com um compasso de 3,7 m x 0,75 m, e regado com rega gota-a-gota. Foi considerado sem interesse fazer simulações

para pomares de sequeiro, dado serem inviáveis em climas como o nosso.

O mapa que representa a produtividade potencial da pera 'Rocha' de regadio mostra que as localizações junto ao litoral são as mais favoráveis, especialmente junto à costa do centro e sul. Esta cultura tem necessidades de frio importantes, o que pode explicar as ausências no litoral algarvio, excepto na faixa mais ocidental em que o clima é menos quente. As baixas produtividades ou ausências no interior e norte advêm da pequenez da estação de crescimento, quer resultante da ocorrência de geadas primaveris e/ou geadas antes da maturação completa dos frutos.

No sul, as produtividades no interior, quando a cultura é viável, são muito mais baixas devido ao efeito conjugado do défice de saturação excessivo, da menor duração do crescimento, e do efeito adverso das temperaturas elevadas na fotossíntese líquida. Alguns casos, no litoral centro, referem-se à inexistência de solos apropriados ou áreas afectas a reservas naturais. Um pouco por todo o territórios vemos ausências que derivam dos maus solos que infelizmente abundam em Portugal, nomeadamente os de espessura inferior a 30 cm, limite que considerámos como mínimo para as simulações. Note-se que isto não implica que recomendemos a utilização de solos tão pouco profundos para este fim, mas tão-somente que estas áreas não são à partida excluídas, pois os solos têm grande variabilidade espacial e pode acontecer que nos casos concretos as profundidades sejam mais generosas.

Quanto aos valores potenciais apresentados podem parecer excessivos. Note-se, contudo, que temos dados de campos comerciais que, embora pontualmente, até ultrapassam em muito estes valores.

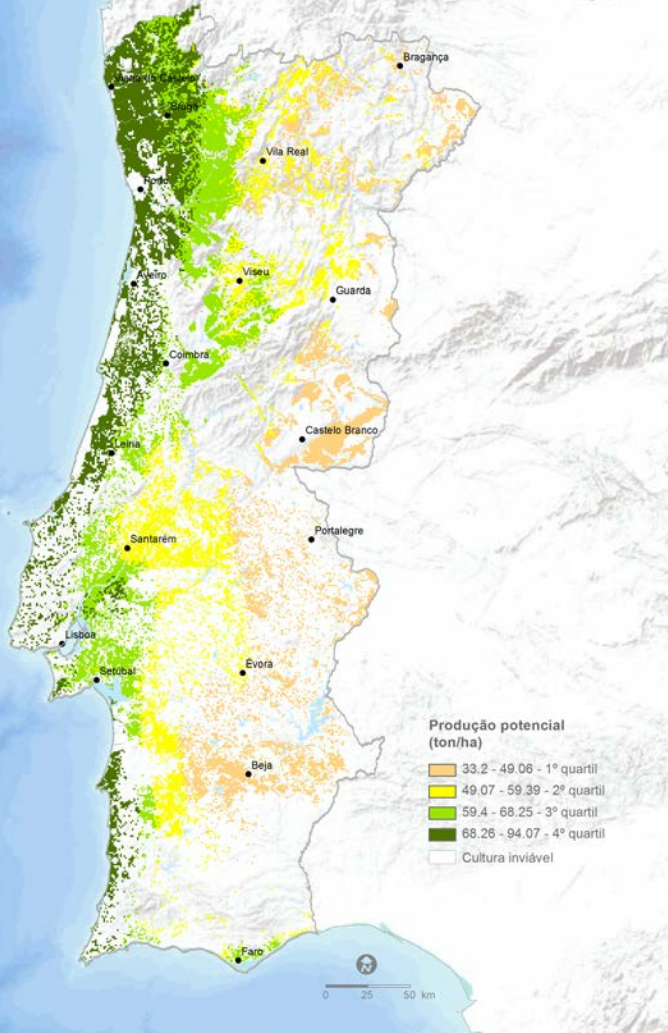


Figura 29 - Pomares de Pêra Rocha, Bombarral.

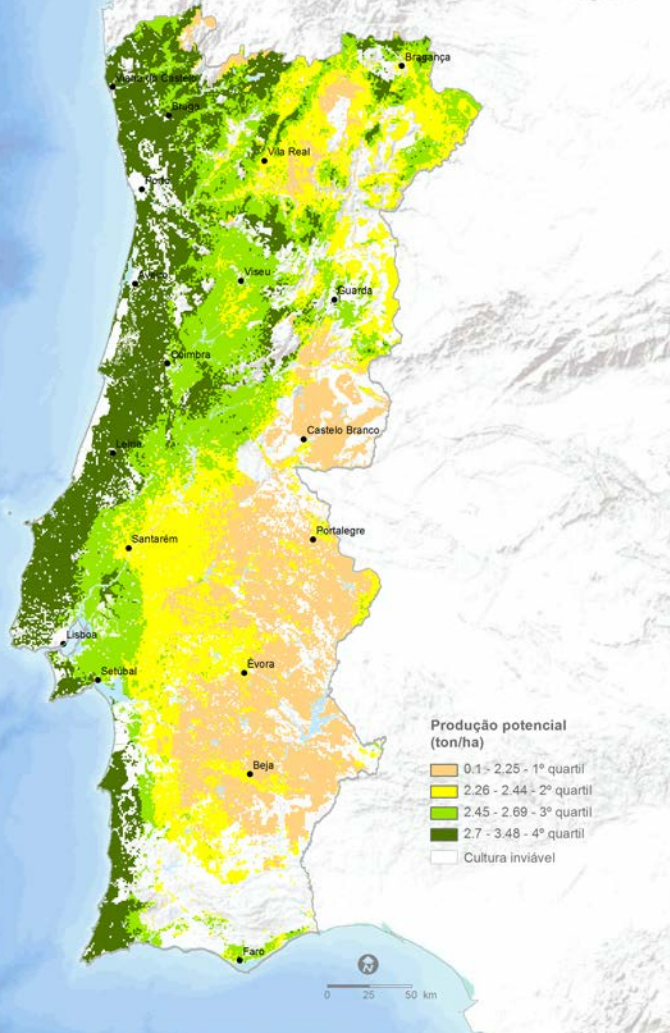
Vinha (*Vitis vinifera* L.)

A vinha é a cultura que mais tem explorado o conhecimento humano sobre a resposta das plantas ao ambiente. As suas inúmeras castas, beneficiando de técnicas de controlo ambiental imaginativas permitem-lhe estar presente em quase todo o território nacional, explorando nichos que poucas plantas podem explorar. Assim, a necessidade de fazer uma zonagem da vinha não existe. O que poderia ser feito, o que seria uma tarefa imensa, seria avaliar a eficiência das práticas culturais existentes e contribuir para explorar o enorme material genético existente no sentido de aumentar a qualidade e quantidade da produção. Ora, estes designios extravasam o âmbito deste projecto.

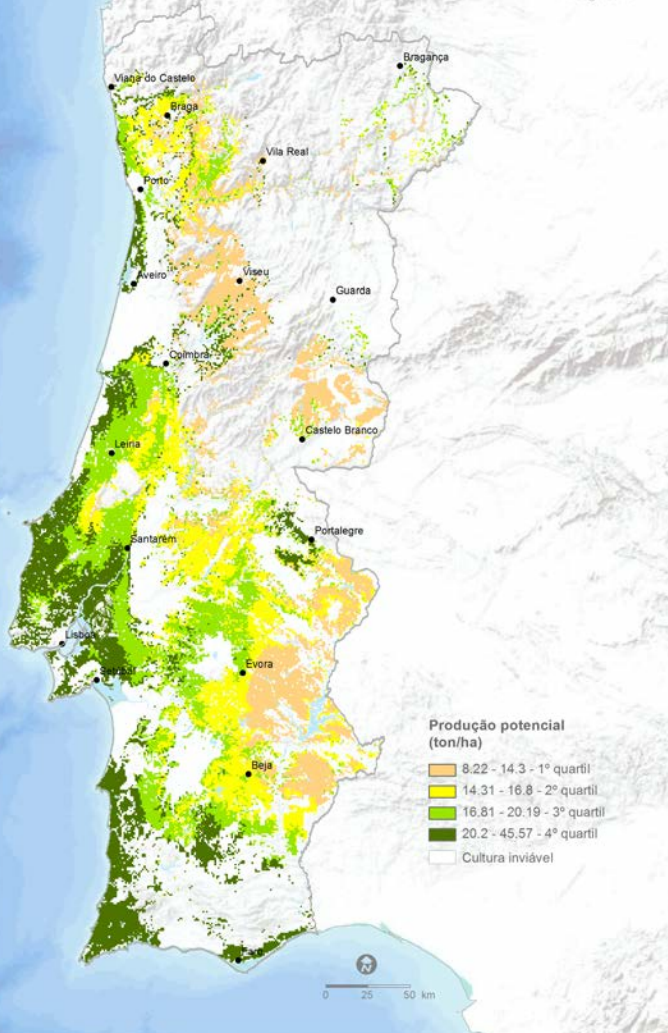
Beterraba sacarina - *Beta vulgaris* L.
Regadio



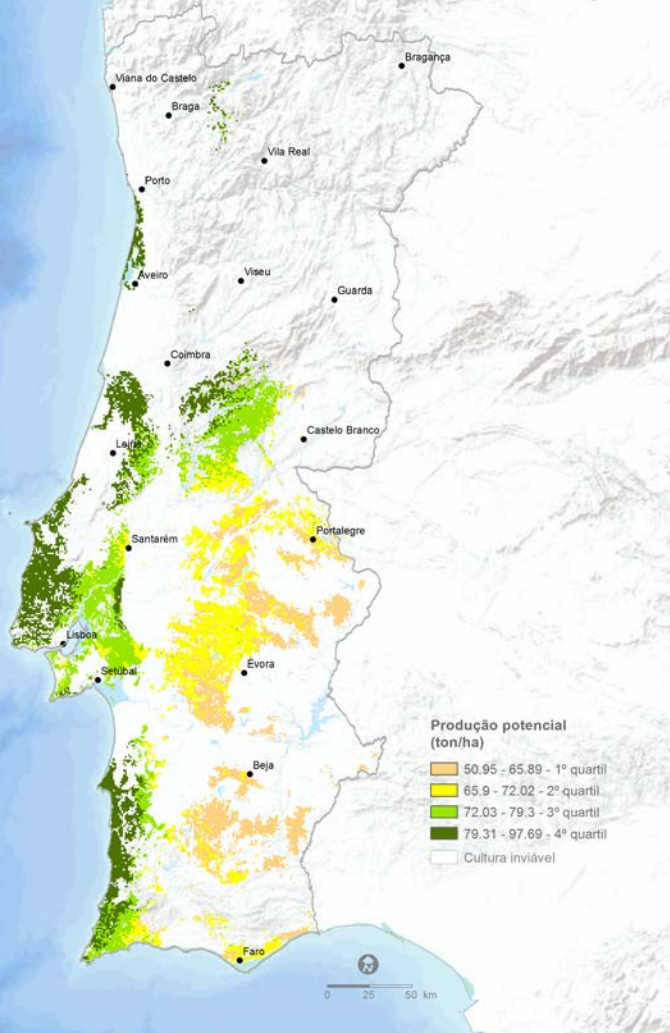
Feijão - *Phaseolus vulgaris* L.
Regadio



Morango - *Fragaria x ananassa* Duch
Regadio



Pêra - *Pyrus communis* L.
Regadio



Oliveira (*Olea europaea ssp. europaea* L.)

A oliveira (Figura 34) é uma planta perene de folha persistente com metabolismo do carbono do tipo C_3 . Planta típica dos climas mediterrânicos, não tem resposta fotoperiódica conhecida, tem necessidades de frio, é muito resistente à secura e tolera temperaturas bastante elevadas. As necessidades de frio foram simuladas utilizando o modelo desenvolvido por De Melo-Abreu *et al.* (2004) e utilizando parâmetros resultantes de estudos recentes feitos à escala nacional e que ainda não foram publicados. A resistência à secura é acomodada por duas funções que definem dois factores (0-1), que reduzem em função do défice de saturação, F_D , e da disponibilidade de água no solo, F_W (ver acima). A função que calcula o factor F_T que reduz a assimilação em função da temperatura, quando não é óptima, admite que a assimilação de carbono funciona a nível aceitável até aos 45°C.

A oliveira é resistente às geadas. No inverno, as árvores aclimatadas e de bom porte/idade podem sobreviver a geadas em que a temperatura desce até aos -12°C durante vários dias. As árvores mais jovens ou desaclimatadas perecem em grande quantidade a esta temperatura e começam a ter prejuízos relevantes a cerca de -7°C durante vários dias. Para efeitos de zonagem consideramos a temperatura mínima absoluta de -12 °C. Na primavera, os danos nas flores e frutos jovens são raros dado que as oliveiras começam por ter uma fase vegetativa que pode durar até 2 meses, tendo a floração em Maio ou Junho quando as geadas são raras. No entanto, na fase vegetativa, os danos nas folhas ou gomos começam a ocorrer a uma temperatura do ar abaixo de 0°C (cerca de -2°C nos órgãos). Por fim, na fase final da maturação, as azeitonas costumam ser afectadas quando a temperatura do ar é negativa, o que resulta em perda de qualidade do fruto e/ou do azeite.

Esta cultura apresenta alternância no nível de produção (safra e contra safra) que é muito mais marcada nos olivais tradicionais de sequeiro e quando as fertilizações são inadequadas. Por outro lado, há cultivares que são mais afectadas que outras.



Figura 34 - Olival intensivo, Alentejo.

Neste estudo, tivemos de fazer opções. As simulações foram feitas para quatro casos de estudo. A cultivar Cobrançosa foi escolhida para as três densidades de população mais baixas (Caso 1: 120 plantas/ha (Figura 36); Caso 2: 238 plantas/ha (Figura 37 e Figura 38); Caso 3: 408 plantas/ha (Figura 39 e Figura 40), correspondendo o primeiro caso ao olival tradicional. A 'Arbequina' foi escolhida para o caso do olival superintensivo (Caso 4: 1984 plantas/ha (Figura 41). As idades, em anos após a plantação, são 20, 20, 5 e 10 anos, para os casos 1 a 4, respectivamente. Para o Caso 1, só fizemos simulações para o sequeiro, para os casos 2 e 3, apresentamos simulações correspondentes ao regadio e ao sequeiro, e no Caso 4 só fizemos simulações referentes ao regadio, visto que neste caso as

densidades de população são incompatíveis com o sequeiro. Sabemos bem quais as limitações desta abordagem, mas esperamos ter disponível, em breve, na página pessoal do primeiro autor (www.isa.utl.pt/~jpabreu) uma versão do sistema CSS que permita calcular a produção em qualquer lugar com os parâmetros escolhidos pelo utilizador, nomeadamente entrando com a densidade populacional.

Para atender à alternância das produções, as simulações foram feitas para dois anos consecutivos (safra/contra safra) sendo considerada a média das produtividades dos dois anos. Nós estimámos o **Alternate Bearing Index** (ABI), para a cultivar Cobrançosa, utilizando dados de doze anos em olivais de regadio. O valor que obtivemos foi 0,33, o que corresponde a um ano de determinada produtividade seguido de um ano com uma produtividade de metade da primeira. Quanto à 'Arbequina', atendendo a que esta cultivar só será utilizada nas simulações referentes ao olival super-intensivo, o valor do índice utilizado foi 0,2, que é um valor aceitável para esta cultivar, em boas condições produtivas (e.g., Villalobos *et al.*, 2006).

No caso da oliveira, o mapeamento do crescimento sem factores limitantes, excluindo os do ambiente físico e da água disponível, pode levar a interpretações erróneas. Isto porque nos climas húmidos e com frequência de precipitação elevada a oliveira dá-se mal devido à ocorrência de pragas e doenças. Entre as pragas, na generalidade dos casos, destacam-se pela sua nocividade a mosca da azeitona, *Bractocera oleae* (Gmelin), e a traça da oliveira, *Prays oleae* (Bernard), embora hajam outras, nomeadamente algumas de introdução recente. Entre as doenças, a gafa e o olho de pavão são duas doenças fúngicas de grande importância. Nos olivais novos do sul, a verticilose, que é uma doença causada por um fungo de solo (*Verticillium dahliae* Kleb.) é uma doença importante também. Assim, procedeu-se ao estudo de um índice que pudesse ser utilizado para filtrar os resultados de simulação de molde a excluir as células cujas condições de humidade atmosférica e frequência de precipitação façam prever um nível médio de ataque de pragas e doenças demasiado elevado para a produção económica de azeite e/ou azeitona de mesa.

No índice desenvolvido atendeu-se a que a oliveira, em geral, e atendendo às pragas e doenças mais frequentes, é mais sensível durante o crescimento activo, por isso, não foram considerados os meses de Janeiro a Abril, que correspondem aos meses em que os gomos, geralmente, apresentam-se em estado de dormência em Portugal Continental. Relativamente aos restantes meses, consideraram-se dois indicadores na composição do índice: 1) um indicador relacionado com a frequência das precipitações, *Total Rain Events*, *TRE*; 2) outro indicador, relacionado com o número de meses de Maio a Dezembro em que a humidade é alta, *Months of High relative Humidity*, *MHH*.

TRE calcula-se de acordo com a fórmula: $TRE = \sum NDR1$, onde *NDR1* é o número médio mensal de dias com precipitação superior a 1 mm, num mês de Maio a Dezembro, em que a média mensal da temperatura média diária desse mês é superior a 10°C. O valor de 10°C foi adoptado atendendo a que esta é uma temperatura ligeiramente superior à temperatura base para a forçagem, na segunda fase da simulação da data de ocorrência da floração. Por outro lado, estamos a trabalhar com temperaturas médias mensais, que são médias de temperaturas médias diárias. Durante um dia, dependendo de se o céu está limpo ou nublado durante a noite (i.e., radiação líquida noturna) e se o ar está mais ou menos húmido existe uma diferença que pode ser substancial entre a temperatura máxima e mínima (amplitude térmica diária) que atinge em alguns dias uns 15°C. Assim, uma temperatura média diária do ar de 10°C pode corresponder a uma temperatura máxima diária de 17,5°C e uma temperatura mínima diária de 2,5°C. Ora, durante o dia, a temperatura seria muito favorável ao desenvolvimento dos fungos que atacam a parte aérea e as raízes da oliveira.

MHH calcula-se de acordo com a fórmula: $MHH = \sum NM$, onde *NM* é um mês em que a humidade relativa mensal é superior a 75 %, entre os meses de Maio a Dezembro, e em que a temperatura mensal média desse mês é superior a 10°C. Este valor de 75 % para a humidade relativa mensal foi obtido por estimativa analisando várias fontes de informação (DGADR, 2010) e calibrando de molde a eliminar localizações em que a oliveira necessita de protecção fitossanitária acima do nível económico. Note-se que na literatura o limiar da humidade relativa é, geralmente, em redor dos 95% para as doenças. No entanto, há que atender a que os valores da humidade relativa variam ao longo do dia entre próximo de 100%, um pouco antes do nascer do sol, até um mínimo que se atinge, geralmente, aquando da ocorrência da temperatura máxima (cerca de 14 horas solares). Logo, valores durante o dia de 95% em alguns dias resultam em valores muito mais baixos quando se utilizam médias mensais, que são as constantes nas

normais climatológicas. Por calibração chegámos à conclusão que os limiares adoptados são razoáveis (Barranco *et al.*, 2008; Bohm, 2013).

O índice *General Olive Pests and Diseases Index* – GOPDI (Figura 35) combina indicadores TRE e NHH:

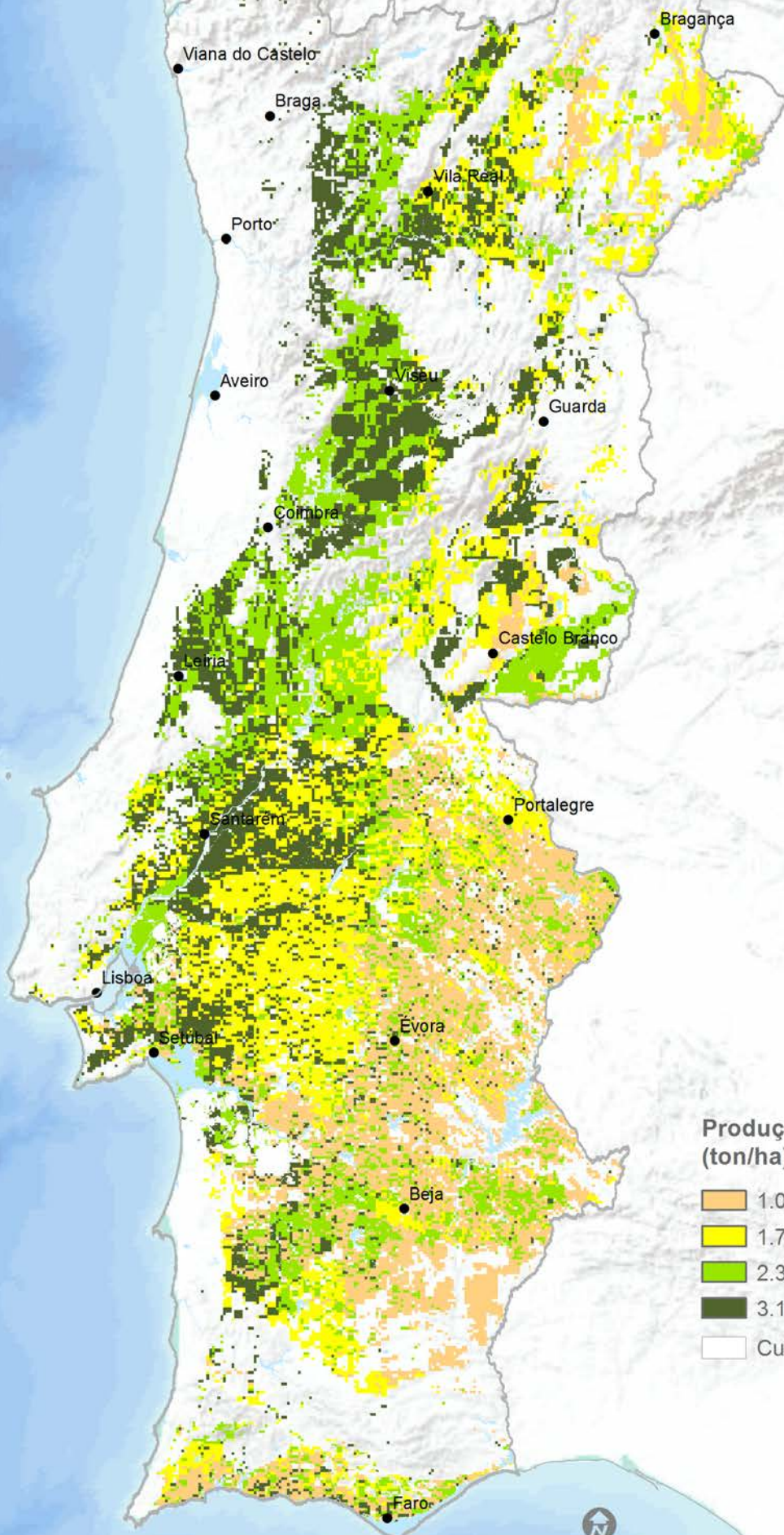
$$GOPDI = \begin{cases} TRE + \text{Max}(0, (NHH - 3)) * 2 & NHH < 8 \\ \text{Max}(51, TRE + (NHH - 3) * 2) & NHH = 8 \end{cases}$$

Depois de verificar as condições nas várias localizações portuguesas, chegou-se à conclusão que um valor superior a 50 de GOPDI corresponde a condições em que o nível de ataques e a sua frequência é de molde a excluir a cultura da oliveira.



Figura 35 – General Olive Pests and Diseases Index (GOPDI).

Oliveira - *Olea europaea* var. *europaea* L.
Tradicional, 120 plantas/ha, Sequeiro

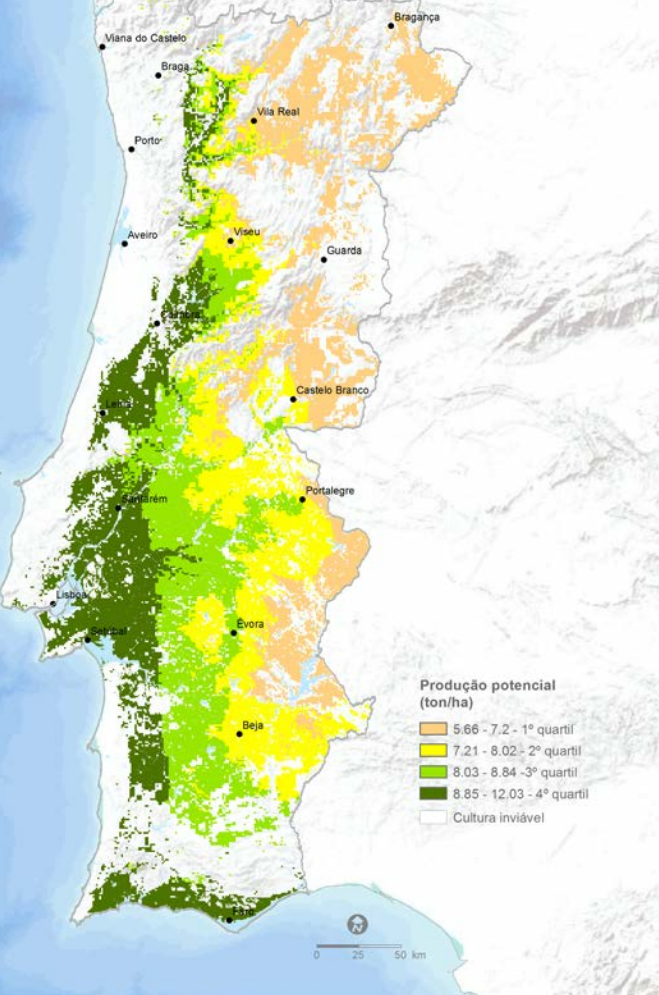


Produção limitada pela água
(ton/ha)

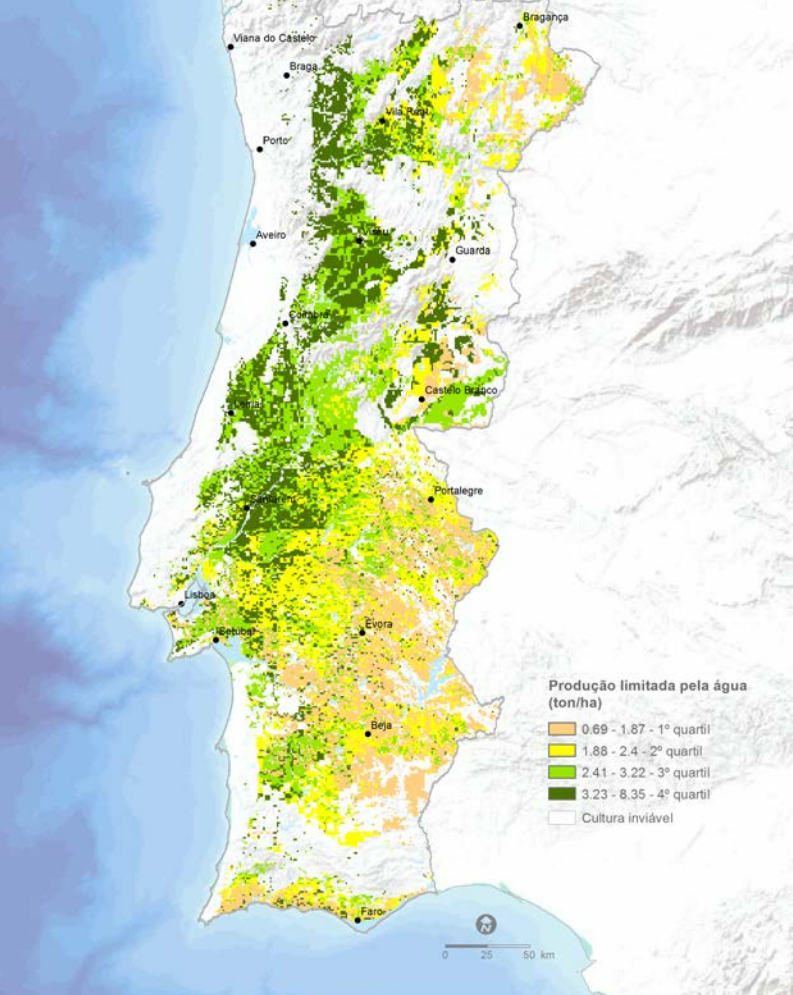
- 1.03 - 1.78 - 1º quartil
- 1.79 - 2.33 - 2º quartil
- 2.34 - 3.1 - 3º quartil
- 3.11 - 5.17 - 4º quartil
- Cultura inviável



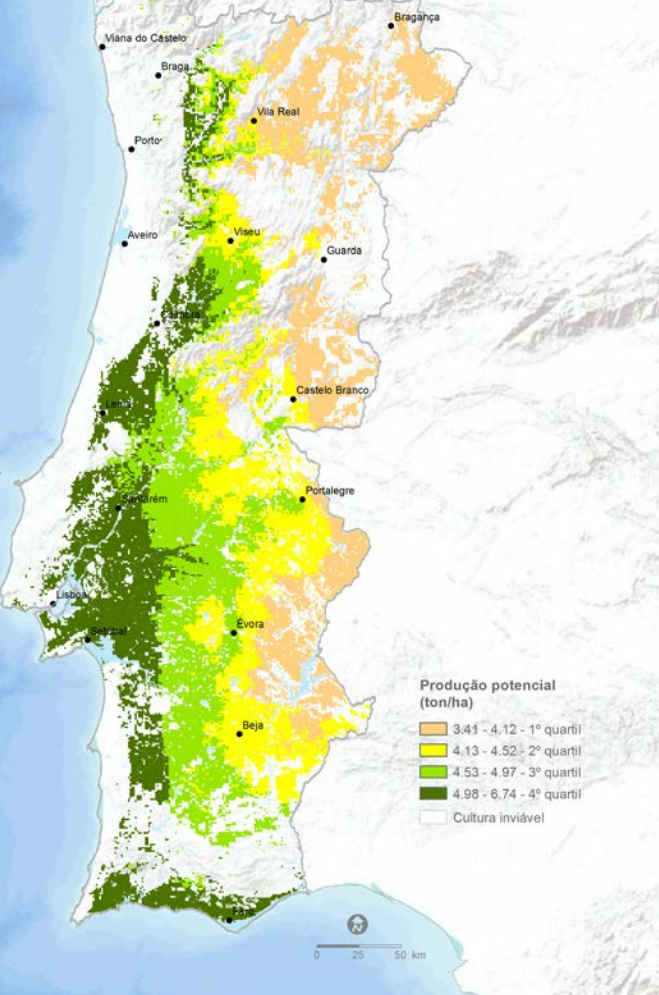
Oliveira - *Olea europaea* var. *europaea* L.
20 anos, 238 plantas/ha, Regadio



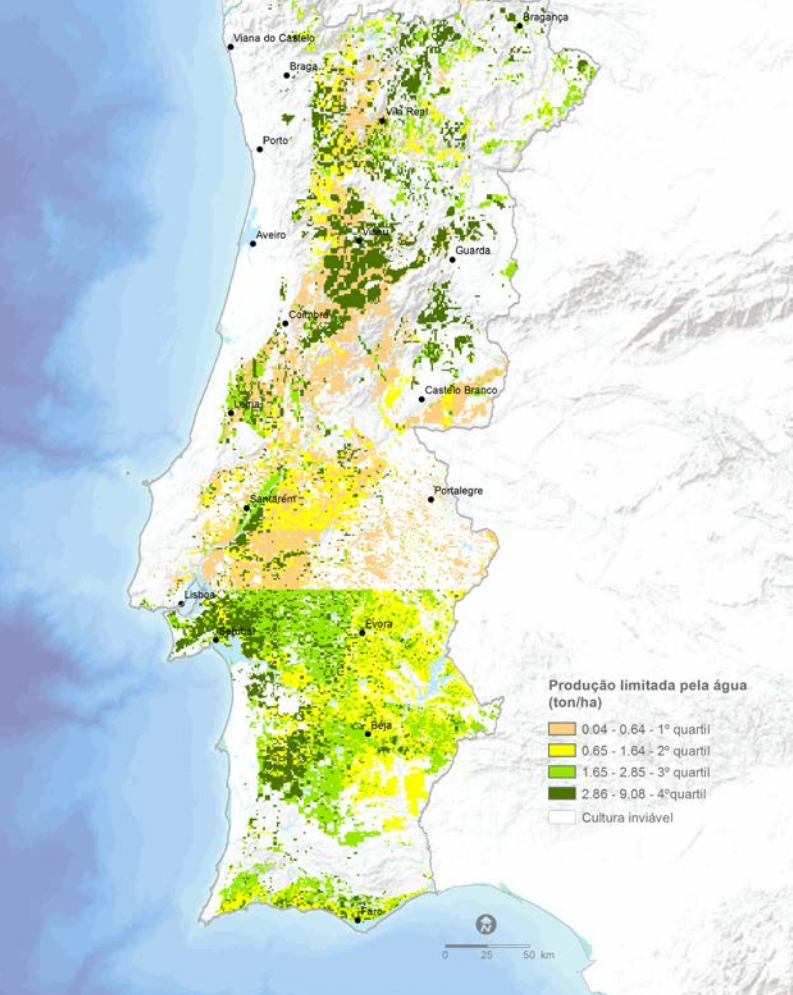
Oliveira - *Olea europaea* var. *europaea* L.
20 anos, 238 plantas/ha, Sequeiro



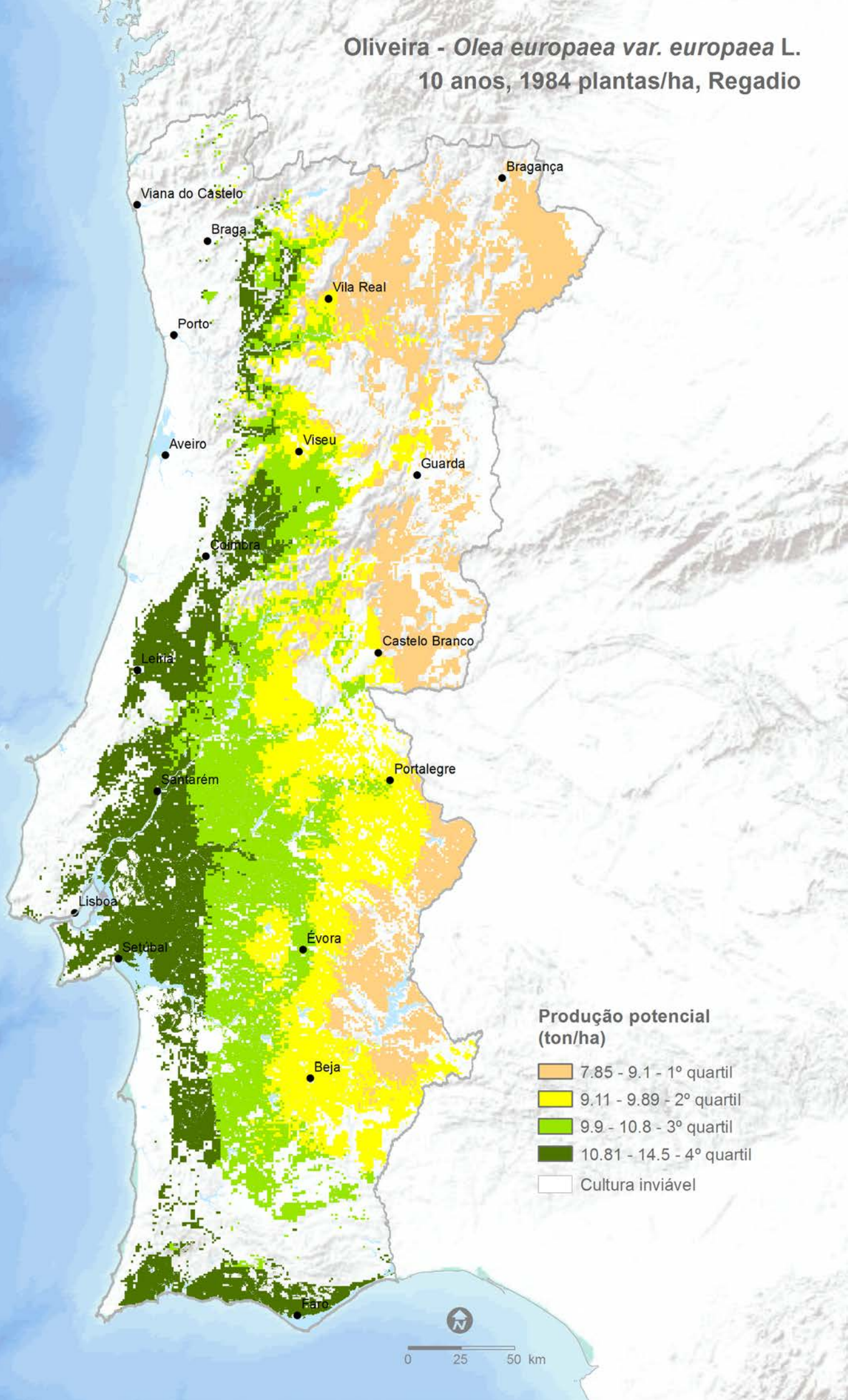
Oliveira - *Olea europaea* var. *europaea* L.
5 anos, 408 plantas/ha, Regadio



Oliveira - *Olea europaea* var. *europaea* L.
5 anos, 408 plantas/ha, Sequeiro



Oliveira - *Olea europaea* var. *europaea* L.
10 anos, 1984 plantas/ha, Regadio



Conclusões

Apresentou-se uma zonagem dos principais grupos de culturas, o que pode ser utilizado por decisores políticos e produtores agrícolas, para racionalizar a produção agrícola nacional. Paralelamente, descortinaram-se as causas profundas da distribuição potencial das culturas em Portugal.

Nas culturas arvenses e hortícolas parece haver lugar para grandes aumentos de produtividade, através do preenchimento adequado da totalidade da época de crescimento, da escolha mais criteriosa das cultivares e das datas de sementeira/plantação. Nas culturas perenes, impõe-se a análise multicritério (produtividade, avaliação comparativa de desempenho dos sistemas de produção, análise custo-benefício, avaliação de impacte ambiental e avaliação ambiental estratégica) como base na escolha dos sistemas produtivos mais vantajosos.

Referências Bibliográficas

- Abreu, J. P. de Melo e, Flores, I., Abreu, F. M. G., Madeira, M. V., 1993. Nitrogen uptake in relation to water availability in wheat. *Plant and Soil* 154(1): 89-96.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. & Smith, M., 1998. *Crop Evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements*. FAO Irrigation and Drainage Paper, No. 56. 300p.
- Barranco, D., Fernández-Escobar, Rallo, L. (Eds.). 2008. *El Cultivo del Olivo*. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid. 846 pp.
- Boesten, J.J.T.I. and Stroosnijder, L., 1986. Simple model for daily evaporation from fallow tilled soil under spring conditions in a temperate climate. *Netherlands J. Agric. Sci.* 34: 91-102.
- Böhm, J., (autor-coordenador), 2013. *O Grande Livro da Oliveira e do Azeite*. Dinalivro, Lisboa. 288 pp.
- Campbell, G. S., 1985. *Soil physics with BASIC - transport models for soil-plant systems*. Elsevier, Amsterdam.
- Campbell, G. S. & Norman, J. M., 1998. *An Introduction to Environmental Biophysics*. Springer-Verlag. 286 pp.
- Cunha, N. S., Magalhães, M. M. R., Abreu M. M., Cancela D'Abreu, M. 2013. Morfologia do Terreno. In Magalhães, M.R. (Coordenação Geral) 2013. *Estrutura Ecológica Nacional - uma proposta de delimitação e regulamentação*, 51-66. ISAPress, Lisboa.
- De Melo-Abreu, J. P., Barranco, D., Cordeiro, A. M., Tous, J., Rogado, B. M., Villalobos, F. 2004. Modelling olive flowering date using chilling for dormancy release and thermal time. *Agricultural and Forest Meteorology* 125(1-2): 117-127.
- De Melo-Abreu, J.P., Silva, J.M, Barba, N.G. 2005. Phenology prediction in "Rocha" pear under mild winters. *Acta Horticulturae* 671:177-182.
- De Melo-Abreu, J.P., Sousa, M.L. and Lopes, J.S., 2015. CSS_PEAR: A model to simulate growth, production and quality of pear (*Pyrus communis* L.). *Acta Hort.* 1094, 223-231.
- DGADR, 2010. *Produção Integrada do Olival*. http://www.dgadr.mamaot.pt/images/docs/prod_sust/normas_pi/Prodi_olival.pdf
- Ferreira, M. E., Abreu, J. P. de Melo e, Bianco, V. V., Monteiro, A. 1997. Predicting phasic development of green beans for processing using a model with high temperature reduction of thermal time accumulation. *Scientia Horticulturae* 69:123:133.
- Fischer G., Nachtergaele F. O., Prieler S., Teixeira E., Toth G., van Velthuisen H. T., Verelst L., Wiberg, D., 2012. *Global Agro-Ecological Zones (GAEZ v3.0)*. IIASA, Laxenburg, Austria & FAO, Rome, Italy.
- Keulen, H. van., 1975. *Simulation of water use and herbage growth in arid regions*. Simulation Monograph. Pudoc, Wageningen.
- Magalhães, M. R. (Coordenação Geral), 2013. *Estrutura Ecológica Nacional - uma proposta de delimitação e*

regulamentação. ISAPress, Lisboa. ISBN 978-972-8669-53-9

McCree, K.J., 1970. An equation for the respiration of white clover plants grown under controlled conditions. p. 221-229. In: Setlik I. (Ed.), Prediction and measurement of photosynthetic productivity. Pudoc, Wageningen.

Monteith, J.L., 1977. Climate and the efficiency of crop production in Britain. Philos. Trans. R. Soc. London. B 281, 277-294.

Penning de Vries, F. W. T. 1975. The cost of maintenance processes in plant cells. Ann. Bot. 39:77-92.

Penning de Vries, F.W.T., Jansen, D.M., Berge, H.F.M., Bakena, A., 1989. Simulation of ecophysiological processes of growth in several annual crops. Simulation Monographs 29. Pudoc, Wageningen. 270 p.

Silva, J. F., Cunha, N. S., Lopes, A. M., Abreu, M. M., Magalhães, M. M. R. 2013a. Litoral. In Magalhães, M.R. (Coordenação Geral) 2013. Estrutura Ecológica Nacional - uma proposta de delimitação e regulamentação, 51-66. ISAPress, Lisboa.

Silva, J. F., Magalhães, M. M. R., Cunha, N. S. 2013b. Hidrografia. In Magalhães, M.R. (Coordenação Geral) 2013. Estrutura Ecológica Nacional - uma proposta de delimitação e regulamentação, 51-66. ISAPress, Lisboa.

Snyder, R. L., De Melo-Abreu, J. P. 2005. Frost Protection: Fundamentals, Practice and Economics. Vol. I. United Nations, Food and Agriculture Organization, Rome, 223 pp.

Vieira, M. I., Ferreira, M. E., de Melo-Abreu, J. P. 2004. Above-ground assimilate partitioning in bell pepper (*Capsicum annuum* L.) for processing under Mediterranean conditions. Acta Horticulturae 654:221-227.

Vieira, M.I., de Melo-Abreu, J.P., Ferreira, M.E., Monteiro, A.A. 2009. Dry matter and area partitioning, radiation interception and radiation-use efficiency in open-field bell pepper. Scientia Horticulturae 121: 404-409.

Villalobos F.J., Testi L., Hidalgo J., Pastor M., Orgaz F., 2006. Modelling potential growth and yield of olive (*Olea europaea* L.) canopies. European Journal of Agronomy, 24(4):296-303.

Villalobos, F., Testi, L., Orgaz, F., García-Tejera, O., Lopez-Bernal, A., González-Dugo, M., Ballester-Lurbec, C., Castel, J., Alarcón-Cabañero, J., Nicolás-Nicolás, E., Girona, J., Marsal, J., Fereres, E. 2013. Modelling canopy conductance and transpiration of fruit trees in Mediterranean areas: A simplified approach. Agric. For. Meteorol. 171-172: 93-103.

USDA/SCS (U.S. Dept. of Agriculture, Soil Conservation Service), 1972. National Engineering Handbook, Hydrology.