

# 5

## Agricultura

Pedro Aguiar Pinto (Coordenador)  
*Instituto Superior de Agronomia*

Ricardo Braga  
*Escola Superior Agrária de Elvas*

Ana Paiva Brandão  
*Instituto Superior de Agronomia*

## ÍNDICE

<b>SUMÁRIO EXECUTIVO</b> .....	211
<b>EXECUTIVE SUMMARY</b> .....	212
<b>5. AGRICULTURA</b> .....	213
<b>5.1 INTRODUÇÃO</b> .....	213
5.1.1 Sumário das Conclusões do Estudo SIAM I .....	213
<b>5.2 METODOLOGIA</b> .....	213
5.2.1 Culturas Seleccionadas .....	214
5.2.2 Validação e Calibração dos Modelos Utilizados .....	214
5.2.3 Dados Climáticos e Edáficos .....	214
5.2.4 Desenvolvimento de Aplicação para Representação dos Resultados .....	216
<b>5.3 IMPACTOS</b> .....	216
5.3.1 Breve Caracterização Agrícola das Regiões .....	216
5.3.2 Descrição dos Impactos Identificados .....	218
5.3.2.1 Norte .....	219
5.3.2.2 Centro .....	219
5.3.2.3 Lisboa e Vale do Tejo .....	227
5.3.2.4 Alentejo .....	227
5.3.2.5 Algarve .....	227
5.3.2.6 Portugal Continental .....	228
<b>5.4 DISCUSSÃO</b> .....	228
<b>5.5 CONCLUSÕES</b> .....	229
<b>5.6 REFERÊNCIAS</b> .....	230

## SUMÁRIO EXECUTIVO

A segunda fase do Projecto SIAM (SIAM II) representa um prolongamento e aprofundamento dos trabalhos iniciados na primeira parte do referido projecto. A metodologia seguida é idêntica, embora nesta segunda fase o estudo seja geograficamente mais abrangente, mais exaustivo e minucioso. No Projecto SIAM II fez-se uma análise potencial, a nível nacional, dos impactos em quatro culturas (trigo, milho, arroz, e pastagens e forragens), enquanto no SIAM I apenas se fez uma avaliação dos impactos das alterações climáticas na cultura do trigo e milho, na região de Beja e de Santarém, respectivamente. Utilizou-se a versão dois e três do modelo regional climático HadRM, do Hadley Centre.

O resultado final deste estudo é que no futuro, à excepção das pastagens e forragens, todas as culturas sofrerão uma diminuição de produtividade. Em geral, quando há decréscimos de produção estes são menores no cenário B2 do que no cenário A2 do modelo HadRM3. As versões dois e três do modelo climático HadRM caracterizam de forma diferente a situação de controlo. Por esta razão, a produtividade obtida nas condições actuais depende da versão considerada. Tal facto dificulta a comparação de resultados, sendo mais interessante avaliar apenas as variações entre a produtividade actual e futura obtida com os dados da mesma versão do modelo climático do que fazer uma análise comparativa entre as duas versões.

As medidas de adaptação irão ter que surgir obrigatoriamente num contexto de alteração climática em que se prevê uma redução da produtividade das culturas de trigo, milho e arroz. Estas medidas serão adoptadas com o objectivo de reduzir os impactos negativos e de potenciar os resultados positivos.

## EXECUTIVE SUMMARY

Project SIAM's second phase (SIAM II) is the continuation of the work that begun in the project's first phase. SIAM II intends to deepen the work that was completed in 2002. The methodology used in SIAM II is similar to SIAM I. Nevertheless, in SIAM II, the study includes all the regions of Continental Portugal and is more detailed. In the first phase of this project, only two crops (wheat and maize) and two specific locations (Beja and Santarém) were assessed. In SIAM II, the potential impacts on four crops (wheat, maize, rice and pastures) were analysed, at a national level. Versions two and three of Hadley Centre's climatic model HadRM were used.

The final balance is that in future, with the exception of pastures, all the other crops showed a yield decrease, with the data generated by the two versions of HadRM. In general, the decrease that occurs in scenario B2 is smaller than in scenario A2 of HadRM3. The two versions of the HadRM model define the control situation by different patterns. Therefore, crop yields depend on the version that is used, making it difficult to compare results. It is, therefore, advisable to analyse yield variations, between present and future conditions, obtained with the same version of the model.

Adaptation measures are required to counteract the decreases in the yield of wheat, maize and rice crops. These measures are necessary to minimize the negative impacts of climate change and, in some instances, to maximize positive opportunities.

## 5. Agricultura

Pedro Aguiar Pinto, Ricardo Braga, Ana Paiva Brandão

### 5.1 INTRODUÇÃO

A agricultura constitui uma das actividades mais directamente afectadas pelas condições climáticas. Num clima mediterrânico, caracterizado por importante variabilidade interanual das condições meteorológicas, os agricultores têm frequentemente de tomar decisões de adaptação, em resposta a alterações da disponibilidade de água, a uma evolução desfavorável da temperatura ou à ocorrência de situações meteorológicas extremas. Assim, é de esperar que, num cenário de mudança climática em que se esperam mudanças significativas quer da temperatura quer da precipitação, os impactos na agricultura se possam tornar extremamente significativos.

Neste trabalho, prosseguem-se estudos iniciados no âmbito do Projecto SIAM (Pinto *et al.*, 2002), utilizando-se uma metodologia quantitativa de avaliação dos impactos da mudança climática, baseada em modelos de cálculo da produtividade. O trigo, milho, arroz, e pastagens e forragens foram as culturas escolhidas para este estudo, dada a sua importância para as actividades agrícolas em Portugal Continental. Para o cálculo das produtividades potenciais dessas culturas recorreu-se a um conjunto de modelos representativos do estado da arte em modelação agronómica, sendo estes modelos forçados com os dados climáticos actualmente disponíveis à escala regional para Portugal Continental, correspondentes a três cenários de mudança climática, simulados por dois modelos regionais de clima.

#### 5.1.1 Sumário das Conclusões do Estudo SIAM I

O Projecto SIAM I teve como objectivo a estimativa do efeito das alterações climáticas no desempenho agronómico das culturas de trigo e milho (Pinto *et al.*, 2002). A avaliação dos impactos das alterações climáticas na produtividade das culturas agrícolas escolhidas baseou-se no uso de modelos de simulação da aplicação DSSAT 3.5 (Decision Support System for Agrotechnology Transfer) (Jones *et al.*, 1998). Os dados climáticos diários utilizados, relativos às situações actual e futura, foram gerados pelo modelo do Hadley Centre, HadRM2 (Jones *et al.*, 1995 e 1997). Dado tratar-se de um estudo exploratório, foram escolhidas apenas duas regiões representativas das culturas agrícolas em análise. Os dados edáficos foram obtidos a partir de dois tipos de solo caracte-

rísticos das zonas em estudo – litossolos e fluvisolos para a região do Alentejo e do Ribatejo, respectivamente. Os efeitos climáticos da duplicação da concentração de CO<sub>2</sub>, estimados pelo modelo climático, constituíram dados de entrada dos modelos de simulação das culturas (Pinto *et al.*, 2002).

Na avaliação da cultura do trigo utilizou-se o modelo CERES-Wheat (Jones *et al.*, 1998) que foi validado para a região do Alentejo com dados estatísticos de produção para o período de 1986-1998, da Direcção Regional do Alentejo (Pinto *et al.*, 2002). Para o período de 2080-2099, numa localização situada a 38° 16' N e 7° 52' W, perto de Beja, o modelo CERES-Wheat indicou um decréscimo de 25 % da produtividade. Para avaliar os impactos na cultura do milho recorreu-se ao modelo CERES-Maize (Jones *et al.*, 1998) validado para a região do Ribatejo com dados estatísticos de produção da Direcção Regional do Ribatejo e Oeste, para o período de 1986-1994 (Pinto *et al.*, 2002). O modelo simulou uma redução da produtividade de milho na ordem de 29 %.

Como foi mostrado em Pinto *et al.* (2002), a produtividade depende não só de factores climáticos e edáficos como das práticas culturais, sendo possível reduzir os impactos negativos da mudança climática por intermédio de medidas de adaptação. Algumas medidas são práticas comuns da actividade agrícola na actualidade. Os agricultores escolhem as culturas melhor adaptadas a um determinado local e ajustam as datas de sementeira às condições climáticas características da zona em causa, incluindo as variações anuais. Num cenário climático futuro, que se antevê mais quente e seco, será necessário escolher as datas de sementeira e as cultivares de forma a reduzir o *stress* hídrico, seleccionar culturas melhor adaptadas a temperaturas mais elevadas ou mais resistentes ao *stress* hídrico. Por outro lado, o facto de se preverem Invernos mais amenos irá permitir a introdução de culturas hortícolas em regiões onde tal não é possível actualmente.

### 5.2 METODOLOGIA

No presente trabalho, utiliza-se uma metodologia semelhante à descrita em Pinto *et al.*, (2002) com quatro alterações importantes. Em primeiro lugar, o trabalho refere-se à totalidade do território de Portugal Continental, utilizando mapas da distribuição climática e das características (edáficas) do solo. Em segundo lugar, recorre-se a uma versão

mais actualizada das aplicações agronómicas, na forma da versão 4.0 da colecção DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer, Hoogenboom *et al.*, 2004; Jones *et al.*, 2003). Em terceiro lugar, o cálculo dos impactos abrange um número maior de culturas. Finalmente, utilizam-se três cenários de mudança climática, gerados por dois modelos regionais.

O trigo, milho, arroz, e pastagens e forragens foram as culturas escolhidas para a avaliação dos impactos das alterações climáticas. O alargamento geográfico exigiu a recolha de dados analíticos das principais manchas de solos existentes no Continente português, tendo como ponto de partida a carta de solos do Atlas do Ambiente (escala de 1:1 000 000, Direcção-Geral de Ambiente, 1971). De forma a resolver o problema da inexistência de alguns dados analíticos de determinados perfis de solo desenvolveram-se funções de pedotransferência (PTF's). Estas relações consistem em regressões lineares múltiplas capazes de estimar determinados parâmetros de solo a partir de outros que sejam conhecidos (Pinto *et al.*, 2003).

Os dados climáticos diários utilizados foram gerados pelo modelo regional HadRM (versões 2 e 3) do Hadley Centre (Jones *et al.*, 1995 e 1997; Hulme *et al.*, 2002). Ambas as versões deste modelo definem uma situação de controlo, que procura reproduzir as condições climáticas actuais, e situações futuras. Neste trabalho, a validação e calibração dos modelos agronómicos, em vez de terem sido efectuadas a partir de dados estatísticos de produtividades históricas regionais, foram baseadas em dados experimentais, mais fidedignos.

### 5.2.1 Culturas Seleccionadas

Às culturas em análise no SIAM I (trigo e milho) acrescentaram-se a cultura de arroz e as pastagens e forragens. O arroz foi incluído porque apresenta especificidades únicas no seu cultivo (rega por alagamento) e porque Portugal é um dos cinco países produtores da União Europeia (Faure *et al.*, 1995). O arroz é semeado entre os 53° N a nordeste da China e os 35° S em Nova Gales do Sul, Austrália. Os principais factores ambientais que limitam a sua produção são a temperatura e a disponibilidade de água (Ozawa, 1964). Em Portugal, as zonas produtoras estão localizadas entre o vale do Sado, a sul, e o vale do Vouga, a norte. Considerando que para a cultura ser rentável a produtividade deverá ser superior a 5 t/ha, o limite térmico está definido ligeiramente a norte dos «campos» do Ribatejo (Feio, 1991).

Ao analisar a área de ocupação das principais culturas na superfície agrícola útil (SAU) achou-se importante conside-

rar as pastagens e forragens neste estudo. Em 1999, as pastagens permanentes representavam cerca de 34 % da SAU do Continente (INE, 2001).

### 5.2.2 Validação e Calibração dos Modelos Utilizados

Para os cereais (trigo, milho e arroz) os modelos utilizados pertencem à família CERES (CERES-Wheat, Maize e Rice), enquanto que o modelo CROPGRO foi o escolhido para a simulação das pastagens e forragens (Jones *et al.*, 2003). Todos estes modelos pertencem à colecção DSSAT 4.0, versão beta (Hoogenboom *et al.*, 2004).

Quando se recorre ao uso de modelos de simulação para um determinado local é imperativa a sua prévia calibração e validação. A calibração exige o ajuste de parâmetros do modelo de forma a adaptá-lo a situações específicas. Por sua vez, a validação consiste em aplicar o modelo a dados independentes sem alterar parâmetros e verificar se o seu comportamento se ajusta à realidade (Hoogenboom *et al.*, 1999).

A calibração e a validação dos modelos exigiram a disponibilidade de dados experimentais de ensaios de pelo menos 5 anos. Os dados necessários para estes processos são as datas de sementeira, floração e maturação, o peso de 1000 grãos (g), a produtividade (kg/ha) e o número de grãos por unidade de área. A informação relativa ao itinerário técnico das culturas (ex: tipo de sementeira, distância entre linhas, fertilização) também deverá ser disponibilizada, tal como a descrição dos solos dos campos de ensaios e os respectivos dados climáticos.

A maior parte destes dados foram fornecidos por organismos do Ministério da Agricultura – Estação Nacional de Melhoramento de Plantas, Direcção-Geral de Protecção de Culturas e Direcção Regional de Agricultura da Beira Litoral. Depois de organizados os dados experimentais, a calibração foi efectuada com o auxílio de uma aplicação do DSSAT (Statistical Evaluation) que compara os resultados de campo com os resultados obtidos pela simulação que está a ser calibrada. Uma vez calibrados, os modelos foram validados para Portugal Continental. Após a calibração os modelos ficaram aptos a simular as produtividades reais com um erro médio inferior a 20 %.

### 5.2.3 Dados Climáticos e Edáficos

Tal como anteriormente referido, os dados climáticos utilizados foram gerados pelo modelo HadRM, versões 2 e 3 (Jones *et al.*, 1995 e 1997; Hulme *et al.*, 2002). Este modelo regional gera dados climáticos que reproduzem as condições actuais

(controlo) e as condições futuras (série futura). Os dados da situação de controlo referem-se ao período de 1961-1990. A série futura foi gerada no caso do HadRM2 para o intervalo entre 2080 e 2098, e entre 2071 e 2100 para o HadRM3. Os dados climáticos que os modelos da aplicação DSSAT necessitam são dados diários de temperatura máxima e mínima ( $^{\circ}\text{C}$ ), precipitação (mm) e de radiação ( $\text{MJ}/\text{m}^2/\text{dia}$ ).

Para o modelo HadRM3 foram definidos vários cenários (cenários SRES), para a situação actual e futura, de acordo com o nível de emissão de gases de efeito de estufa. Para as condições actuais optou-se pelo cenário A2, todavia no futuro os cenários escolhidos foram o A2 e B2. Um estudo de impacto deve incluir a utilização de dados climáticos referentes aos diferentes cenários plausíveis (Wigley, 1987).

Este modelo climático produz dados climáticos associados a uma série de pontos distribuídos pelo país – grelha do modelo. Para que todo o país fosse coberto por estes cenários considerou-se que cada ponto desta malha teria uma área de influência. Os pontos considerados são pontos de terra, tendo sido excluídos todos os pontos cuja altitude fosse igual a 0 m (pontos de mar). Deste modo, estabeleceu-se para Portugal Continental uma malha de polígonos cujo ponto central é um ponto da grelha do modelo climático (polígonos de Thyssen). Esta foi uma das metodologias seguidas no Projecto CLIVARA (Downing *et al.*, 2000).

Os dados analíticos referentes aos solos são fundamentais para a execução das simulações com os modelos escolhidos. No entanto, a cartografia dos solos do Continente português está ainda incompleta e aquela que existe não é homogênea no que diz respeito à escala com que foi elaborada, ao método de recolha e de análise das amostras e à classificação utilizada. Assim, quando se pretende fazer um estudo a nível nacional as dificuldades surgem na obtenção da informação para todo o território, sobretudo para a região Centro, no que diz respeito às características físico-químicas dos solos. A indisponibilidade de dados de difícil determinação em análises de rotina, como as propriedades hidráulicas do solo, é outra dificuldade por vezes encontrada.

A partir da carta de solos do Atlas do Ambiente à escala de 1:1 000 000 (Direcção-Geral do Ambiente, 1971) procedeu-se à reclassificação das manchas constantes na carta, de acordo com as classificações dominantes nas cartas de solos de maior escala para as zonas correspondentes (cartas de solos do sul do Tejo, da região de Trás-os-Montes e da zona de Entre Douro e Minho). Cobriu-se assim cerca de 80 % da área do Continente português, com garantia de que a informação associada às manchas se baseia em dados recolhidos no terreno, tendo associada a descrição de um perfil e os dados das análises feitas às amostras colhidas.

Para as zonas não cobertas por cartas de escala maior optou-se por dois métodos distintos. Em primeiro lugar compararam-se as manchas geograficamente mais próximas, com igual classificação na carta do Atlas do Ambiente (1:1 000 000) para as quais já tenha sido encontrada correspondência com cartas mais detalhadas, de maior escala. De seguida, comparou-se a base litológica sobre a qual se desenvolveram os solos da carta do Atlas do Ambiente e as correspondentes manchas das cartas mais detalhadas. Caso a base litológica das duas manchas comparadas fosse idêntica, a correspondência com cartas mais detalhadas foi estendida às manchas em causa. No caso da inexistência de correspondência entre manchas, optou-se pelo segundo método. Neste segundo método, estendeu-se a informação das manchas geograficamente mais próximas e cuja classificação original e litológica fosse a mais próxima possível. Este procedimento foi aplicado a cerca de 5 % da área total.

As cartas de solos existentes de escala 1:50 000 e 1:100 000 têm anexa uma memória descritiva com a caracterização físico-química dos perfis de solo abertos. Contudo, apesar de existirem dados analíticos característicos da maior parte dos solos, muitas vezes a informação não está completa. A informação em falta é geralmente relativa à capacidade máxima para a água (CM), à retenção de água a pF de 2,0 (assumida como capacidade de campo – CC) e a pF de 4,2 (assumido como coeficiente de emurchecimento – CE), e à condutividade hidráulica no estado de saturação (COND). Para a estimação destes valores em falta recorreu-se a regressões múltiplas construídas a partir dos valores disponíveis, conhecidas como funções de pedotransferência (PTF's).

Após consulta bibliográfica, decidiu-se determinar novas regressões em vez de utilizar regressões já definidas por outros autores. Esta opção baseou-se essencialmente na especificidade dos solos de Portugal e nas fracas correlações obtidas entre os valores observados e previstos através de equações já existentes (Saxton *et al.*, 1986; Gonçalves *et al.*, 1997; Wösten *et al.*, 2001).

Como o número de variáveis independentes disponíveis para a determinação das variáveis dependentes é variável, a construção de diferentes equações consoante a disponibilidade dos dados tornou-se necessária. A raiz da média dos erros quadrados (RMSE) e o coeficiente de determinação foram os estimadores do erro entre dados observados e dados estimados pelas PTF's. Os valores da RMSE obtidos para as equações mais simples (com menor número de variáveis independentes) foram de 6,9% (CM), 8,7 % (CC), 3,6 % (CE),  $13,5 \text{ cm}\cdot\text{h}^{-1}$  (COND).

Toda esta informação foi organizada numa base de dados e foi georreferenciada. O resultado final é uma carta de solos

à escala de 1:1 000 000 em formato digital georreferenciada (Figura 5.1), na qual a cada mancha de solo corresponde um conjunto completo de dados físico-químicos. Em todo este processo é preciso ter consciência, entre outros, dos erros associados à informação de base (carta de 1:1 000 000), à extrapolação da classificação e correspondente caracterização quantitativa das manchas do Centro do país e dos parâmetros calculados pelas PTF's. No entanto os resultados obtidos podem ser considerados úteis à escala de 1:1 000 000, para certas aplicações (Pinto *et al.*, 2003).

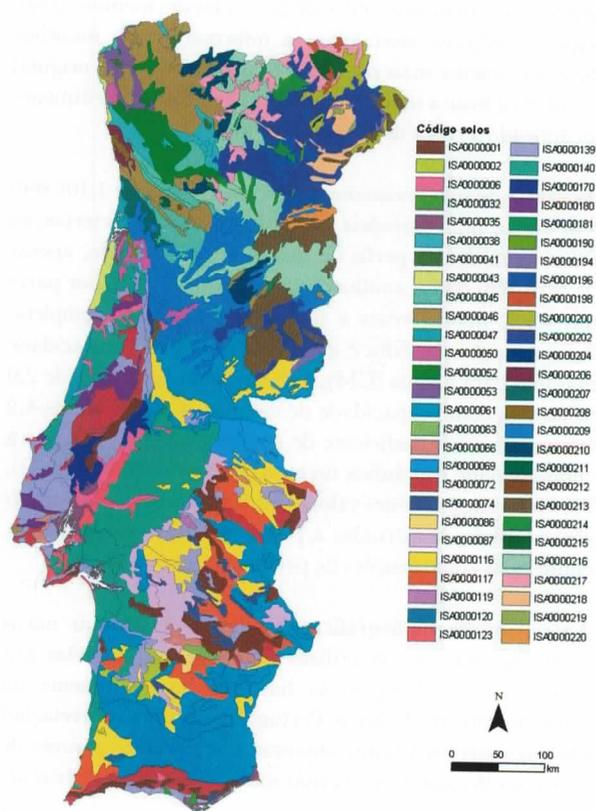


Figura 5.1 – Solos do Continente (Pinto *et al.*, 2003).

#### 5.2.4 Desenvolvimento de Aplicação para Representação dos Resultados

Como resultado das simulações efectuadas com modelos da aplicação DSSAT obtêm-se inúmeras variáveis de saída passíveis de serem analisadas. Destas variáveis são de referir as referentes ao desenvolvimento fenológico da cultura (ex: duração do ciclo de crescimento, data de floração), ao crescimento fisiológico (ex: índice de área foliar, número de grãos, produtividade), ao ciclo de azoto (ex: azoto utilizado, *stress* de

azoto da planta durante o ciclo vegetativo) e às necessidades hídricas.

Dada a complexidade, quer em número quer em diversidade, dos ficheiros de saída foi necessário automatizar a sua análise. Para isso, foi desenvolvida uma aplicação capaz de introduzir automaticamente a informação dos ficheiros de saída dos modelos numa base de dados. A informação disponível na base de dados é susceptível de ser imediatamente visualizada num sistema de informação geográfica (SIG). Assim, os resultados das simulações são rapidamente visualizados e georreferenciados permitindo uma apreciação dos resultados por unidade geográfica considerada (ex: regiões NUTS II) (Figura 5.2).

### 5.3 IMPACTOS

A produtividade é apenas um dos resultados de saída dos modelos de simulação de culturas, sendo o de mais fácil avaliação num estudo de impacto. Assim, a avaliação dos impactos consistiu na determinação da variação relativa (percentual) da produtividade entre as condições actuais (controlo) e os cenários de mudança climática. Para facilitar a análise, o estudo dos impactos a que as quatro culturas escolhidas irão estar sujeitas num cenário de alteração climática foi agregado para as regiões NUTS II – Norte, Centro, Lisboa e Vale do Tejo (LVT), Alentejo e Algarve.

As produtividades simuladas pelos modelos são potenciais, essencialmente dependentes das condições climáticas e das características dos solos. As produtividades não reflectem integralmente a situação real, uma vez que não foram considerados vários factores que condicionam a produção, nomeadamente a dimensão da propriedade, o declive do terreno, pragas e doenças, infestantes, e a disponibilidade de água de rega.

Na Tabela 5.1 estão indicados, por cultura, os principais parâmetros do itinerário técnico das simulações definidas. As decisões técnicas consideradas foram idênticas para as condições climáticas actuais e futuras. Desta forma, as diferenças obtidas na produtividade, entre a situação actual e futura, serão atribuídas à alteração climática e aos aumentos da concentração de gases de efeito de estufa.

#### 5.3.1 Breve Caracterização Agrícola das Regiões

A Figura 5.3 apresenta estimativas, baseadas no INE (2001, 2003), das áreas agrícolas de 14 culturas nas regiões de Portugal Continental.

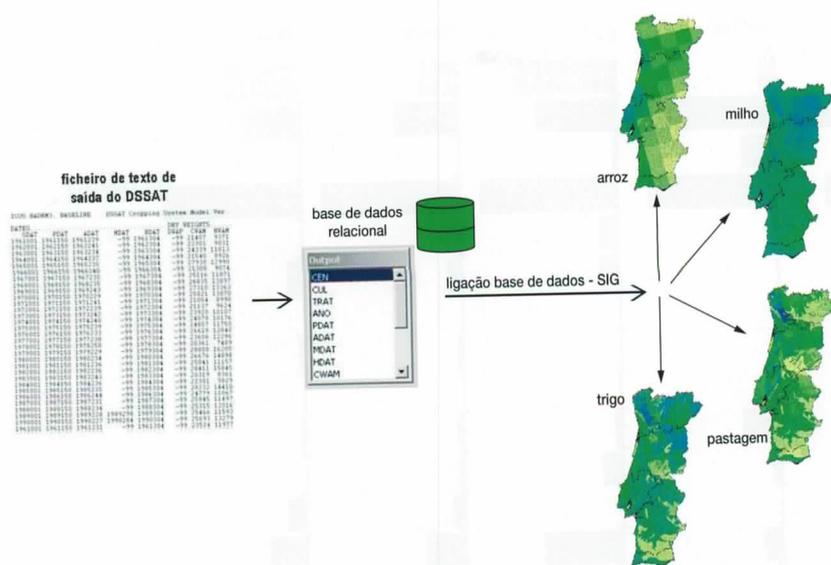


Figura 5.2 – Processo de representação dos resultados do modelo DSSAT (ficheiros de texto) num SIG

duas zonas importantes de produção de vinho – a região dos vinhos verdes e a região dos vinhos do Douro.

A Beira Litoral e a Beira Interior estão incluídas na região Centro. Em relação à estrutura fundiária, apesar de 84 % do número de explorações ter área inferior a 5 ha, as explorações de área superior a 50 ha concentram 35 % da área da SAU da região em causa (INE, 1999). Os prados temporários e as culturas forrageiras são as culturas temporárias que ocupam uma maior área. O milho é o cereal mais semeado nesta zona. Em relação às culturas permanentes, o olival apresenta uma área superior à da vinha. A Beira Interior concentra aproximadamente 77 % da área total de olival da região Centro (INE, 2001).

**Tabela 5.1 – Práticas culturais definidas para as simulações das diferentes culturas (trigo, milho, arroz e pastagens e forragens)**

	TRIGO	MILHO	ARROZ	PASTAGENS e FORRAGENS
Variedade	Anza	Pioneer 345	Ariete	Billion
Data sementeira	15 Novembro	30 Abril	6 Maio	1 Novembro
Data de emergência	25 Novembro	10 Maio	16 Maio	11 Novembro
Densidade sementeira	444 sementes/m <sup>2</sup>	8,5 sementes/m <sup>2</sup>	700 sementes/m <sup>2</sup>	300 sementes/m <sup>2</sup>
Valor cultural	85%	95%	70%	90%
Total azoto aplicado	160 kg/ha	automático	automático	80 kg/ha
Total fósforo aplicado	60 kg/ha	automático	automático	72 kg/ha
Total potássio aplicado	40 kg/ha	automático	automático	60 kg/ha
Profundidade preenchida à capacidade campo		40 cm	30 cm	
Método		aspersão	alagamento	
Data de colheita	à maturação	à maturação	à maturação	30 Junho

A região Norte engloba a região de Entre Douro e Minho e a região de Trás-os-Montes. A área média das explorações cifra-se nos 5 ha. As explorações de pequena dimensão (de área inferior a 5 ha) representam aproximadamente 75 % do número total de explorações desta região NUTS II. Cerca de 19 % da área da superfície agrícola útil (SAU) continental pertence à região do Norte (INE, 1999). As culturas temporárias de maior relevância nesta região são os prados temporários e culturas forrageiras, e a cultura do milho. A vinha apresenta uma área superior à do olival. Nesta região são de destacar

Na região de Lisboa e Vale do Tejo (LVT) as explorações de área inferior a 5 ha representam 77 % do número total de explorações. Por outro lado, 48 % da SAU da região concentra-se em explorações de área superior a 50 ha. A área média das explorações é de 7,7 ha (INE, 1999). Ao analisar a área de ocupação das principais culturas, verifica-se que os prados temporários e as culturas forrageiras são as mais importantes. O milho destaca-se do conjunto dos cereais. Nesta região a batata e o tomate para indústria ocupam cerca de 9000 ha. A área de vinha é superior à área de olival.

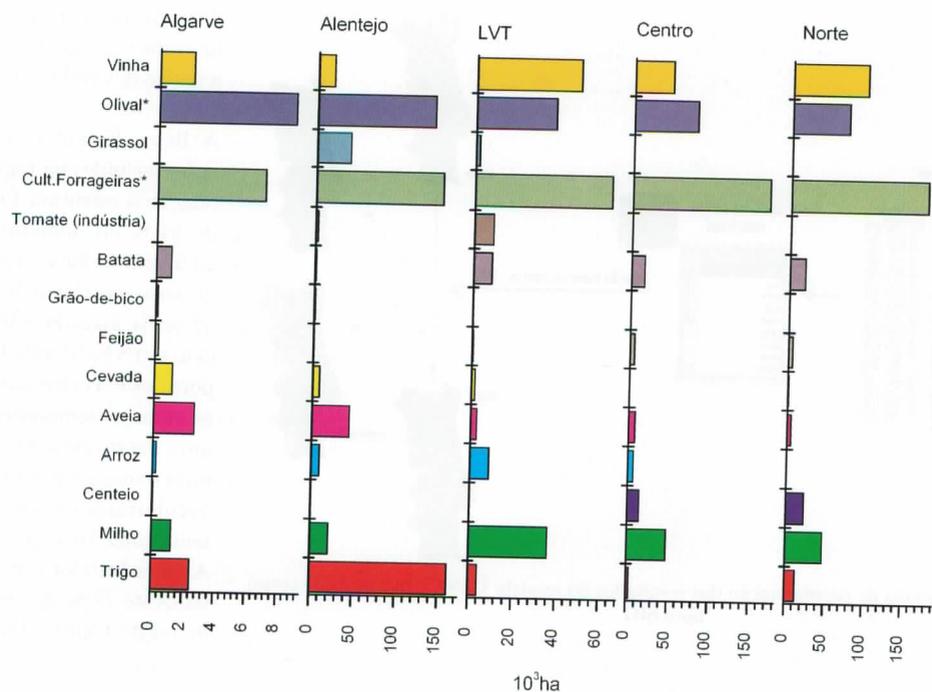


Figura 5.3 – Área de ocupação das principais culturas temporárias, de vinha e de olival (INE, 2003, e INE, 2001).  
\* Área prados temporários e culturas forrageiras e de olival do Recenseamento Geral Agrícola de 1999 (INE, 2001)

Em 1997, a região do Alentejo representava cerca de 47 % da SAU do Continente. Quanto ao número de explorações totalizava 34 413, o que correspondia a 9 % das explorações do Continente (INE, 1999). Nesta região, a cultura do trigo, prados temporários e culturas forrageiras, o milho, a aveia, o arroz e o girassol são as culturas temporárias que ocupam uma maior área. O olival ocupa uma área superior à da vinha.

No Algarve, 80 % das explorações pertencem às classes de área de 1 a 5 ha e de 5 a 20 ha. Estas explorações representam 51 % da área da SAU regional (INE, 1999). Esta região é a mais pequena das regiões consideradas, incluindo apenas 3,5 % da SAU continental (INE, 1999). Por esta razão, é nesta região que se verificam os valores absolutos de áreas de ocupação por cultura mais baixos. Os prados temporários e as culturas forrageiras são as culturas temporárias de maior área. Entre os cereais destacam-se o trigo e a aveia. Tal como no Alentejo, o olival apresenta uma área superior à da vinha.

### 5.3.2 Descrição dos Impactos Identificados

As produtividades regionais (NUTS II) obtidas com os dados climáticos dos modelos HadRM2 e HadRM3 encontram-se representadas nas figuras seguintes.

Como anteriormente mencionado, para o modelo HadRM3 utilizaram-se os dados do cenário A2, para a situação actual, e dados do cenário A2 e B2 para a situação futura.

Para além dos resultados finais de produtividade são apresentados mapas das diferenças percentuais de produtividade entre a situação de controlo e a situação futura, tal como histogramas da distribuição da área por classes de diferença de produtividade. As variações percentuais, para a versão mais recente dos dados climáticos, correspondem às diferenças entre resultados do cenário A2 controlo e cenário A2 futuro (identificado nas Figuras e na Tabela 5.2 – como RM3 A2), e cenário A2 controlo e cenário B2 futuro (identificado nas Figuras e na Tabela 5.2 – como RM3 B2).

Os resultados são apresentados por cultura, organizados segundo a seguinte ordem: trigo, milho, arroz, e pastagens e forragens. As pastagens e forragens estão identificadas simplesmente por pastagem. Tendo como ponto de partida os mapas nacionais com a identificação das regiões, estes serão posteriormente comentados por região NUTS II (Norte, Centro, Lisboa e Vale do Tejo, Alentejo e Algarve).

A Tabela 5.2 agrega os resultados descritos nas figuras anteriores, apresentando valores médios da produtividade simulada para as diferentes culturas, nas diferentes regiões. A partir da produtividade média simulada em cada mancha

de solo ( $x_i$ , correspondente a uma área  $A_i$ ), calculou-se a média regional  $\bar{X}_r$  e o desvio-padrão da produtividade ( $\sigma$ ), utilizando os dados HadRM2 e HadRM3, nas situações actual e futura.

$$\bar{X}_r = \frac{\sum_{i=1}^n x_i A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (5-1)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_i^2 - \bar{X}_r^2}{(n-1)}} \quad (5-2)$$

### 5.3.2.1 Norte

O trigo não constitui uma cultura muito habitual na região Norte do país, representando aproximadamente 15 000 ha da SAU da região (INE, 1999, e INE, 2003). Por observação dos mapas de resultados conseguem distinguir-se zonas potencialmente mais produtivas do que outras. A produtividade potencial ultrapassa os 1000 kg/ha em praticamente todos os locais. Ao avaliar as diferenças de produtividade entre os cenários actual e futuro, verifica-se que praticamente toda a área da região Norte sofre um decréscimo de produtividade com os dados do modelo climático HadRM2 (cenário IS92a) (Figura 5.4c,d). Com os dados do HadRM3, cenário A2, embora existam situações pontuais de aumento de produtividade verifica-se uma tendência para a diminuição da produtividade (-5 %) (Tabela 5.2, Figuras 5.11, 5.12 e 5.5 c,d). No caso do cenário HadRM3-B2 verifica-se um aumento muito ligeiro (1%) da produtividade média (Figura 5.6c).

Tal como já foi referido, o milho é o cereal de maior importância na região Norte. Nas simulações da produtividade deste cereal observam-se diferenças drásticas entre os modelos HadRM2 e HadRM3, quer na situação de controlo quer nos cenários de mudança climática. Nos cenários, as variações de produtividade média para esta região encontram-se entre os +64 % (HadRM2-IS92a) e os -24 % (HadRM3-A2). No entanto, é preciso salientar que a maior parte dessas diferenças resultam dos diferentes climas simulados na situação de controlo. De facto, a produtividade actual obtida com o modelo HadRM2 é muito inferior à obtida com o modelo HadRM3. O modelo HadRM3 estima para as condições actuais temperaturas mais elevadas no Verão e menos precipitação que a versão 2 do modelo climático. Esta diferença das produtividades de base é a justificação das diferentes tendências calculadas entre o presente e o futuro, uma vez que os mapas futuros são semelhantes (Figuras 5.7, 5.8 e 5.9).

O arroz é uma cultura inexistente no Norte do país, pelo que os resultados apresentados são pouco relevantes. Nas simulações de controlo observam-se, para a região Norte, grandes diferenças entre as produtividades simuladas com dados HadRM2 e HadRM3. Estas diferenças implicam diferenças qualitativas nos cenários futuros, com grande aumento da produtividade potencial do arroz no cenário HadRM2-IS92a e substancial redução nos outros dois cenários, especialmente no cenário A2 (Tabela 5.2, Figuras 5.10, 5.11 e 5.12).

As pastagens e forragens apresentam uma gradação do valor da produtividade do Minho para Trás-os-Montes, registando o Minho os maiores valores. No futuro são esperados para a maioria da área aumentos de produtividade. Os acréscimos são mais acentuados com o modelo HadRM2 (Tabela 5.2) mas também são importantes nos cenários HadRM3-A2,B2 (Figuras 5.14c,d e 5.15c,d).

### 5.3.2.2 Centro

No recenseamento geral agrícola de 1999 o valor da área de trigo na região Centro cifrou-se próximo dos 3000 ha (INE, 2001). Esta cultura é a que possui menor área de ocupação entre os cereais em análise. As produtividades potenciais obtidas para as condições actuais são superiores às alcançadas na situação futura para os dados do modelo HadRM2, apresentando quase toda a área da região uma variação média regional negativa (-29 %) (Tabela 5.2). Por outro lado, com os dados do modelo HadRM3, nomeadamente para o cenário B2, as variações integradas da produtividade potencial são desprezáveis (Tabela 5.2).

Na região Centro, o milho é o cereal com maior área dedicada. Com os dados HadRM2-IS92a verificam-se zonas de decréscimo e de acréscimo de produtividade futura, sendo o balanço médio da região negativo (-15 %) (Tabela 5.2). Por outro lado, as diferenças de produtividade entre a situação actual e futura são quase sempre negativas para o modelo HadRM3 (Figuras 5.8c,d e 5.9c,d). Verifica-se que as produtividades médias para as condições actuais são semelhantes para ambas as versões do modelo climático, mas as zonas de maiores e menores produtividades com uma e outra versão do modelo não coincidem geograficamente (Figuras 5.7a, 5.8a e 5.9a).

Na zona Centro, o arroz é o segundo cereal mais semeado, e a nível nacional esta é uma das três regiões NUTS II produtoras. Em toda a região Centro, considerando os dados HadRM2, observam-se diferentes níveis de produtividade. É interessante constatar que em relação à situação actual a produtividade futura das zonas mais produtivas é semelhante aos valores obtidos nas condições actuais, e as zonas menos produtivas sofrem um decréscimo, à excepção das áreas

**Tabela 5.2 – Produtividades (média ponderada e desvio-padrão) e diferenças percentuais entre a situação actual e a futura, por cultura, por região e por cenário climático**

Cultura	Região	Produtividade (kg/ha)					Variação da produtividade			
		HadRM2		HadRM3			%			
		Controlo	IS92a	Controlo	A2	B2	RM2	RM3 A2	RM3 B2	
Trigo	Norte	$\bar{x}_r$	3207	2480	3469	3289	3510	-23	-5	1
		$\sigma$	967	781	1025	842	1020			
	Centro	$\bar{x}_r$	2925	2076	3069	2624	3084	-29	-14	0
		$\sigma$	899	540	860	764	863			
	LVT	$\bar{x}_r$	2773	2143	3242	2863	2858	-23	-12	-12
		$\sigma$	572	498	600	508	516			
	Alentejo	$\bar{x}_r$	2523	2132	2739	2420	2329	-15	-12	-15
		$\sigma$	817	625	940	846	772			
	Algarve	$\bar{x}_r$	1865	1648	2262	1924	1857	-12	-15	-18
		$\sigma$	589	457	953	884	811			
	Continente	$\bar{x}_r$	2791	2175	3043	2715	2858	-22	-11	-6
		$\sigma$	844	624	898	800	883			
Milho	Norte	$\bar{x}_r$	5959	9778	10776	8149	9291	64	-24	-14
		$\sigma$	3265	1038	1359	1050	1157			
	Centro	$\bar{x}_r$	9908	8458	10178	7157	8248	-15	-30	-19
		$\sigma$	1754	1423	1099	830	816			
	LVT	$\bar{x}_r$	11669	8920	9895	8292	8843	-24	-16	-11
		$\sigma$	595	1223	447	976	811			
	Alentejo	$\bar{x}_r$	11226	7678	9205	6566	7512	-32	-29	-18
		$\sigma$	623	1084	686	1177	984			
	Algarve	$\bar{x}_r$	11647	8759	9674	7278	8069	-25	-25	-17
		$\sigma$	794	943	895	1314	1107			
	Continente	$\bar{x}_r$	9692	8618	9960	7377	8346	-11	-26	-16
		$\sigma$	2814	1356	1066	1177	1086			
Arroz	Norte	$\bar{x}_r$	1052	2512	3667	1130	1977	139	-69	-46
		$\sigma$	1946	1893	1305	1417	1524			
	Centro	$\bar{x}_r$	3396	1949	4197	1321	1763	-43	-69	-58
		$\sigma$	2397	2986	1560	2216	2343			
	LVT	$\bar{x}_r$	6160	2352	5531	2771	3395	-62	-50	-39
		$\sigma$	1694	2830	1771	2226	2247			
	Alentejo	$\bar{x}_r$	5179	781	2491	229	466	-85	-91	-81
		$\sigma$	1509	1410	1239	482	835			
	Algarve	$\bar{x}_r$	6694	1578	3780	522	1058	-76	-86	-72
		$\sigma$	1624	2390	1460	497	977			
	Continente	$\bar{x}_r$	3930	1764	3708	1095	1602	-55	-70	-57
		$\sigma$	2712	2455	1750	1810	1973			
Pastagem	Norte	$\bar{x}_r$	2419	3879	3173	3792	3552	60	20	12
		$\sigma$	1466	1635	1660	1713	1811			
	Centro	$\bar{x}_r$	3075	3693	3127	3519	3384	20	13	8
		$\sigma$	1244	950	1170	851	951			
	LVT	$\bar{x}_r$	3773	4093	3618	3720	3770	8	3	4
		$\sigma$	1146	817	1045	777	809			
	Alentejo	$\bar{x}_r$	3065	3599	2866	3279	3215	17	14	12
		$\sigma$	1067	915	1065	846	870			
	Algarve	$\bar{x}_r$	2565	3203	2508	2912	2861	25	16	14
		$\sigma$	976	791	1151	1029	1030			
	Continente	$\bar{x}_r$	2979	3736	3091	3505	3396	25	13	10
		$\sigma$	1321	1120	1274	1111	1184			

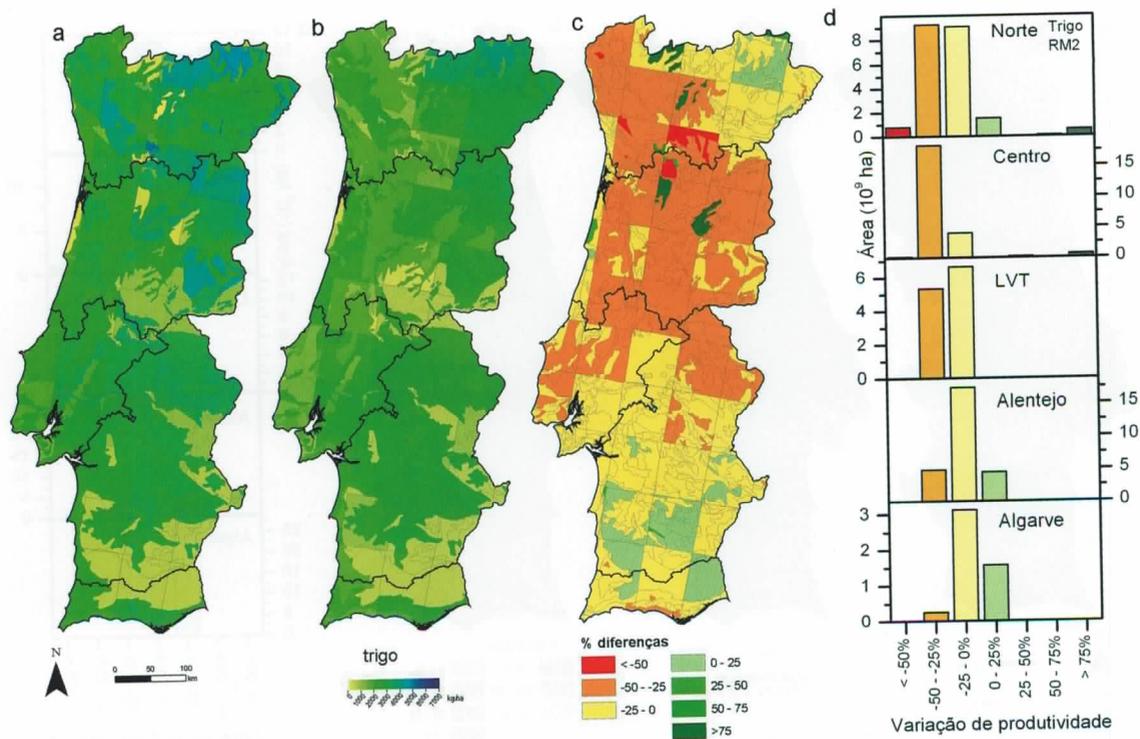


Figura 5.4 – Produtividade de trigo simulada com dados do modelo HadRM2: a) controlo; b) cenário IS92a; c) variações de produtividade; d) histogramas da distribuição da área por classes de diferença de produtividade

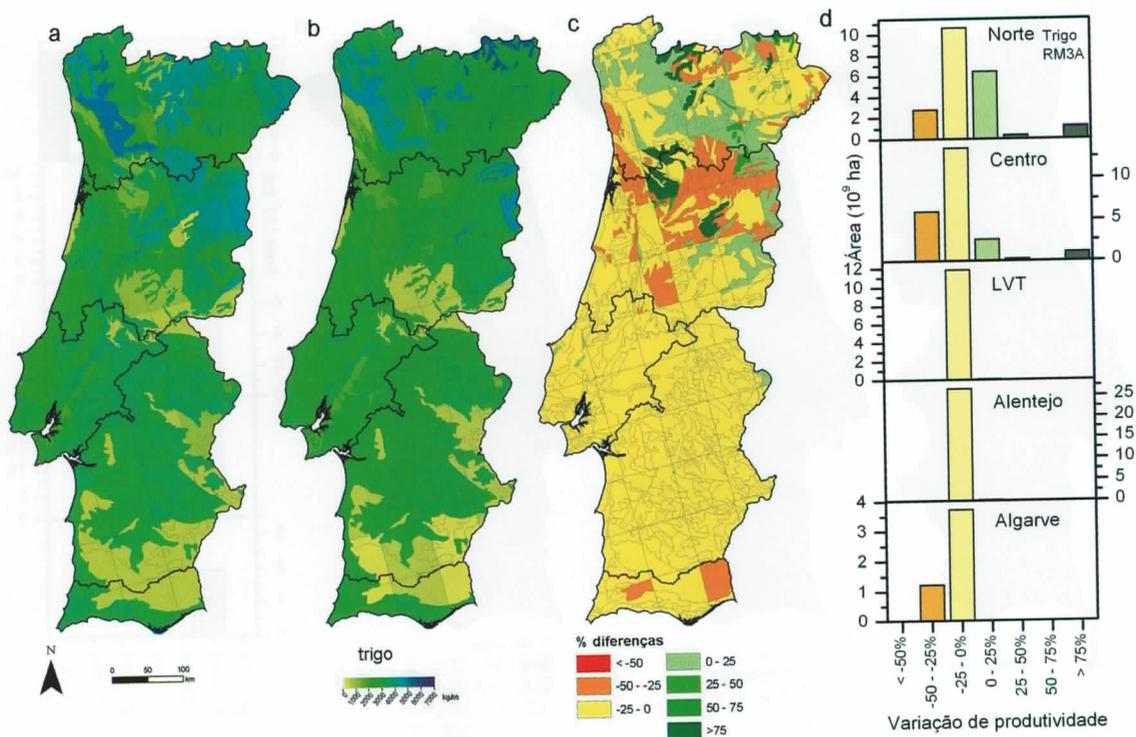


Figura 5.5 – Produtividade de trigo simulada com dados do modelo HadRM3: a) controlo; b) cenário A2; c) variações de produtividade; d) histogramas da distribuição da área por classes de diferença de produtividade

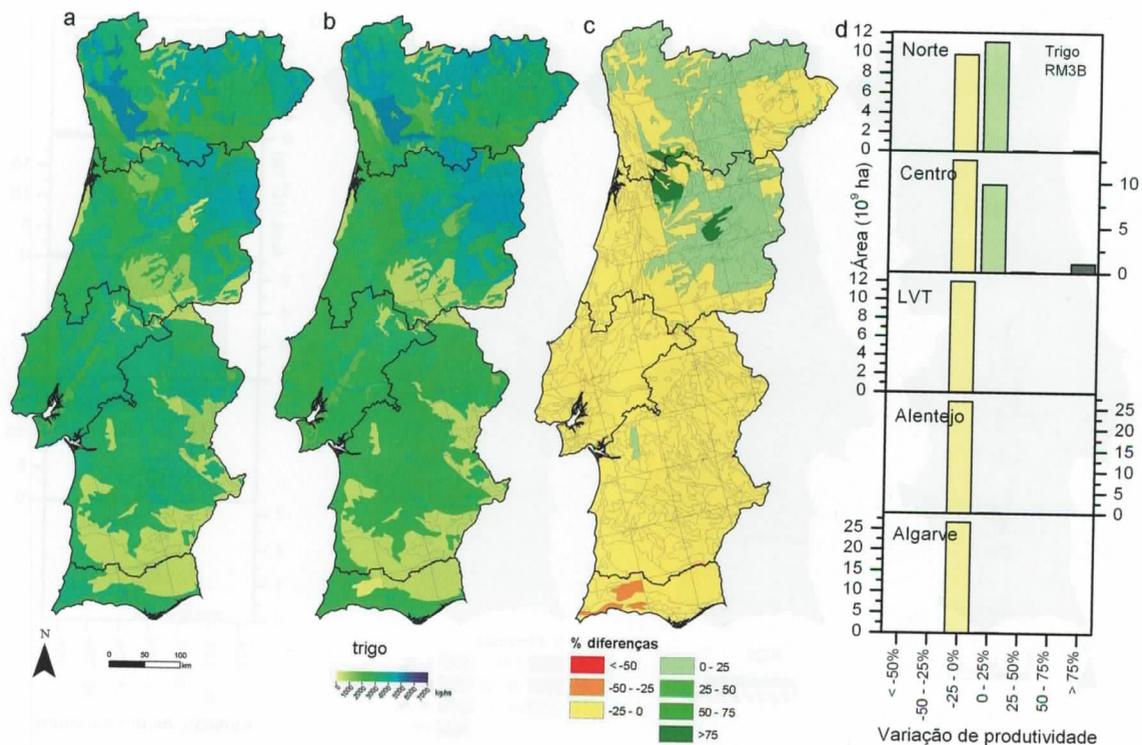


Figura 5.6 – Produtividade de trigo simulada com dados do modelo HadRM3: a) controlo; b) cenário B2; c) variações de produtividade; d) histogramas da distribuição da área por classes de diferença de produtividade

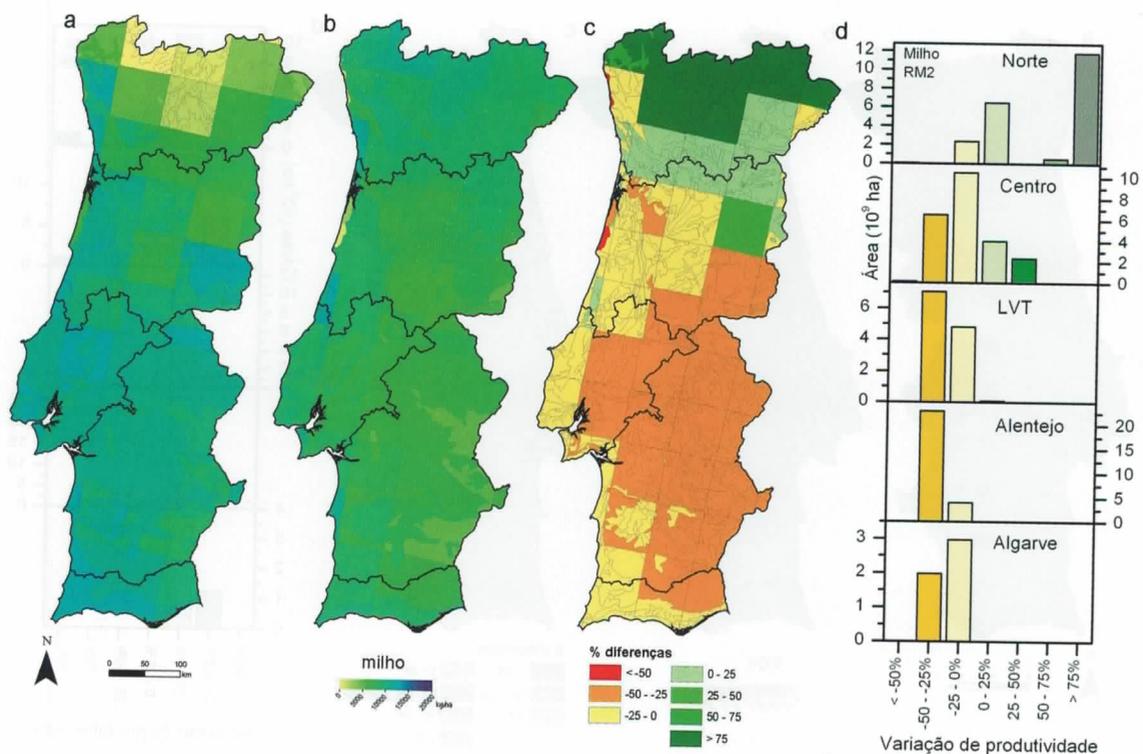


Figura 5.7 – Produtividade de milho simulada com dados do modelo HadRM2: a) controlo; b) cenário IS92a; c) variações de produtividade; d) histogramas da distribuição da área por classes de diferença de produtividade

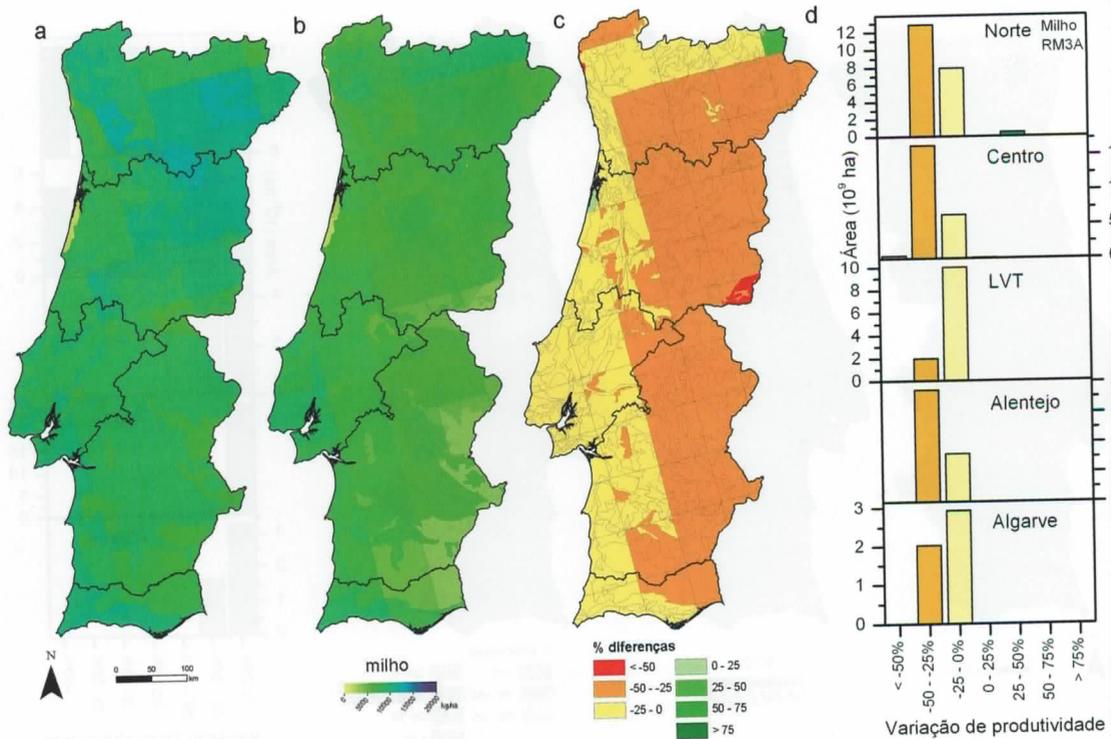


Figura 5.8 – Produtividade de milho simulada com dados do modelo HadRM3: a) controlo; b) cenário A2; c) variações de produtividade; d) histogramas da distribuição da área por classes de diferença de produtividade

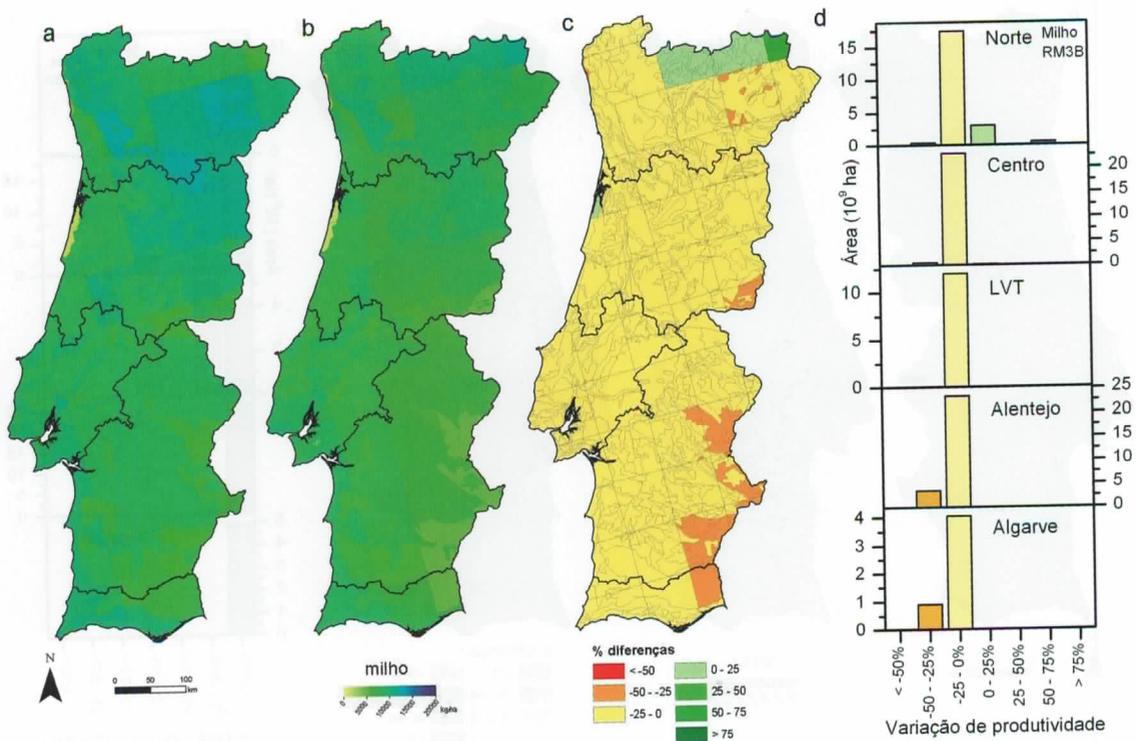


Figura 5.9 – Produtividade de milho simulada com dados do modelo HadRM3: a) controlo; b) cenário B2; c) variações de produtividade; d) histogramas da distribuição da área por classes de diferença de produtividade

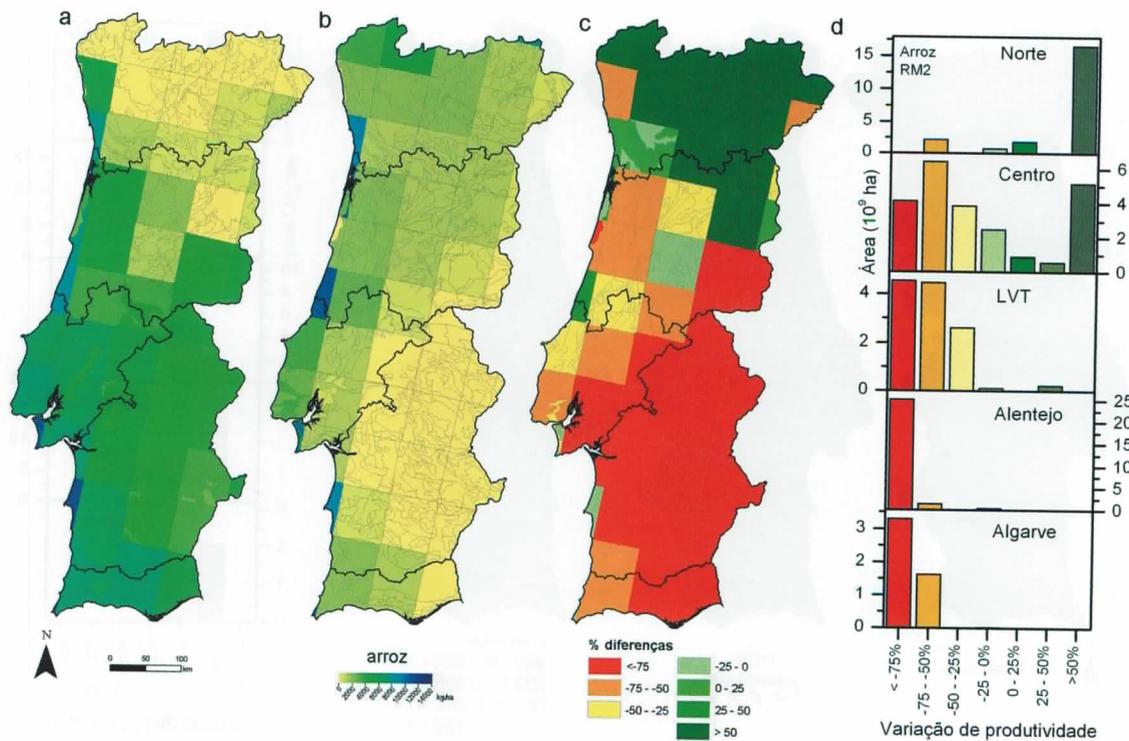


Figura 5.10 – Produtividade de arroz simulada com dados do modelo HadRM2: a) controlo; b) cenário IS92a; c) variações de produtividade; d) histogramas da distribuição da área por classes de diferença de produtividade

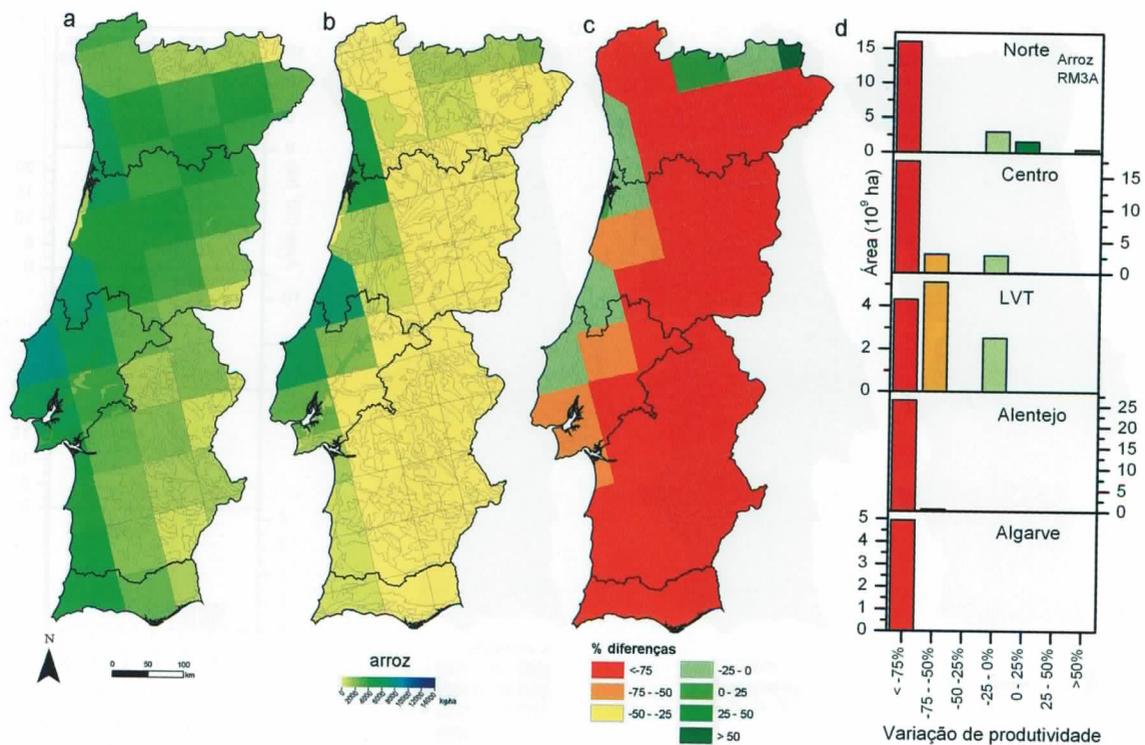


Figura 5.11 – Produtividade de arroz simulada com dados do modelo HadRM3: a) controlo; b) cenário A2; c) variações de produtividade; d) histogramas da distribuição da área por classes de diferença de produtividade

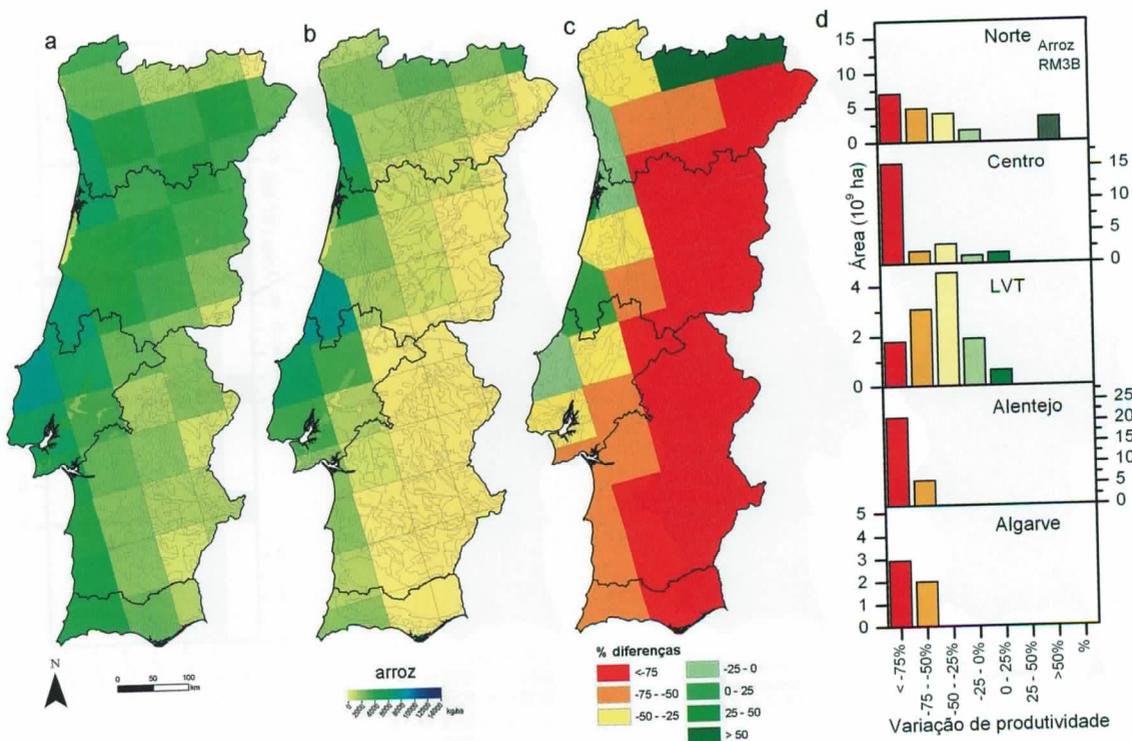


Figura 5.12 – Produtividade de arroz simulada com dados do modelo HadRM3: a) controlo; b) cenário B2; c) variações de produtividade; d) histogramas da distribuição da área por classes de diferença de produtividade

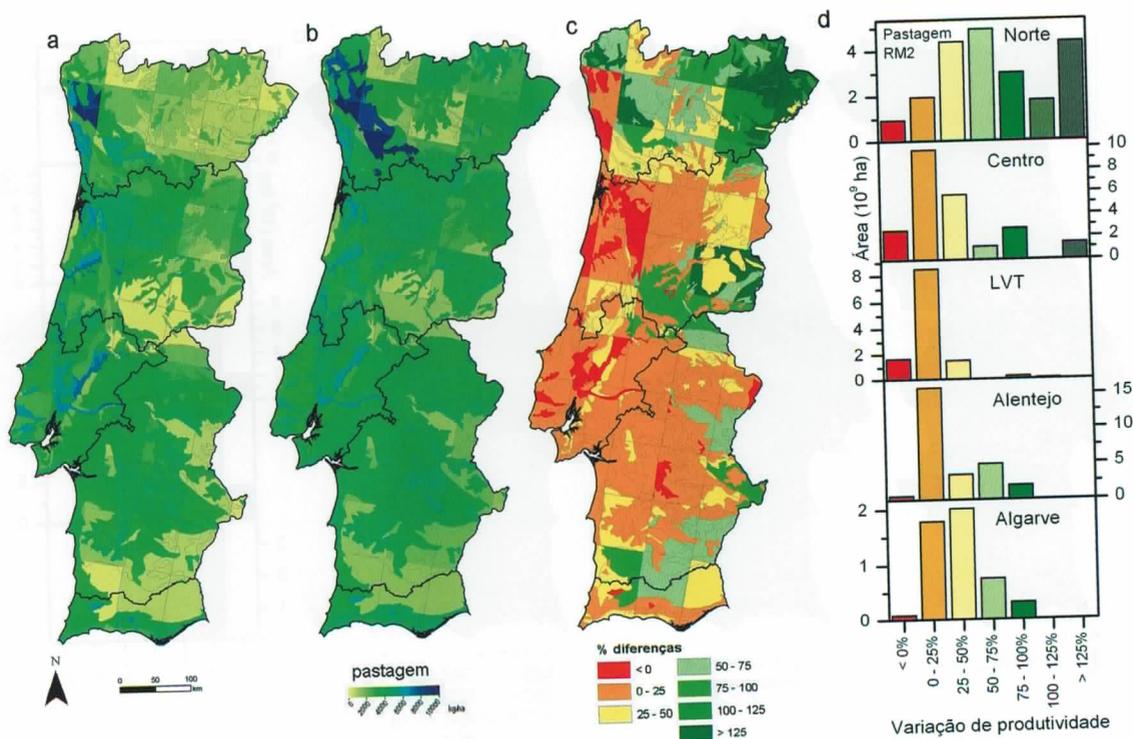


Figura 5.13 – Produtividade de pastagem simulada com dados do modelo HadRM2: a) controlo; b) cenário IS92a; c) variações de produtividade; d) histogramas da distribuição da área por classes de diferença de produtividade

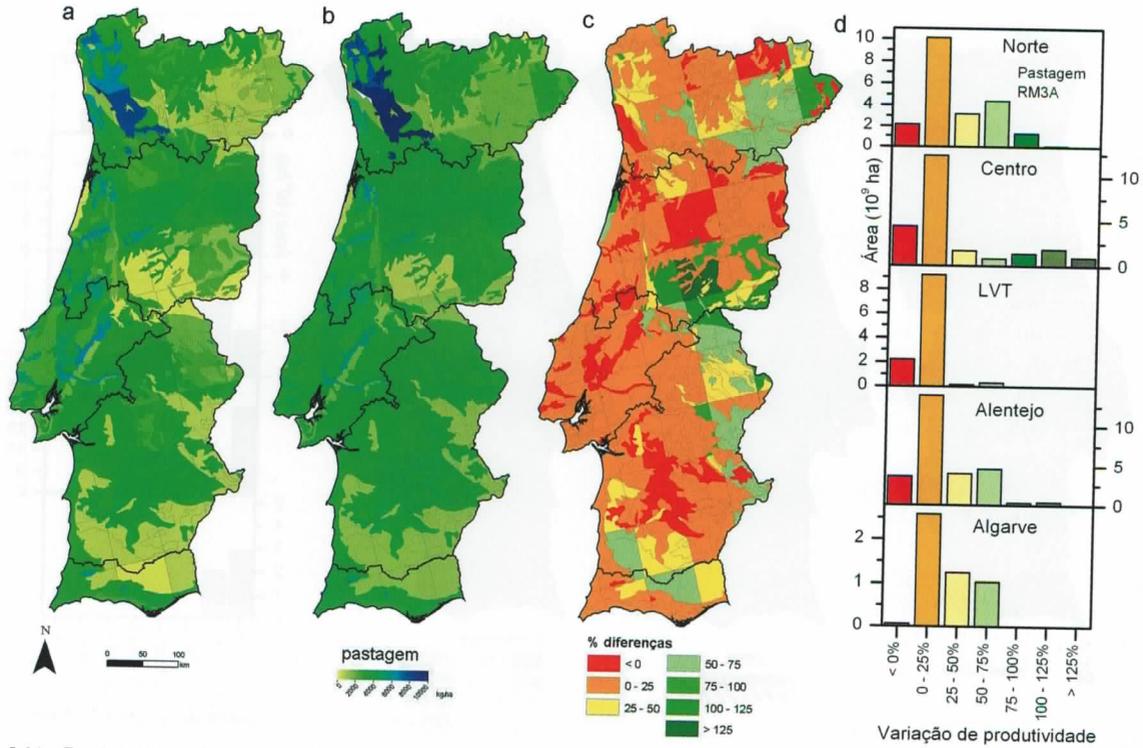


Figura 5.14 – Produtividade de pastagem simulada com dados do modelo HadRM3: a) controlo; b) cenário A2; c) variações de produtividade; d) histogramas da distribuição da área por classes de diferença de produtividade

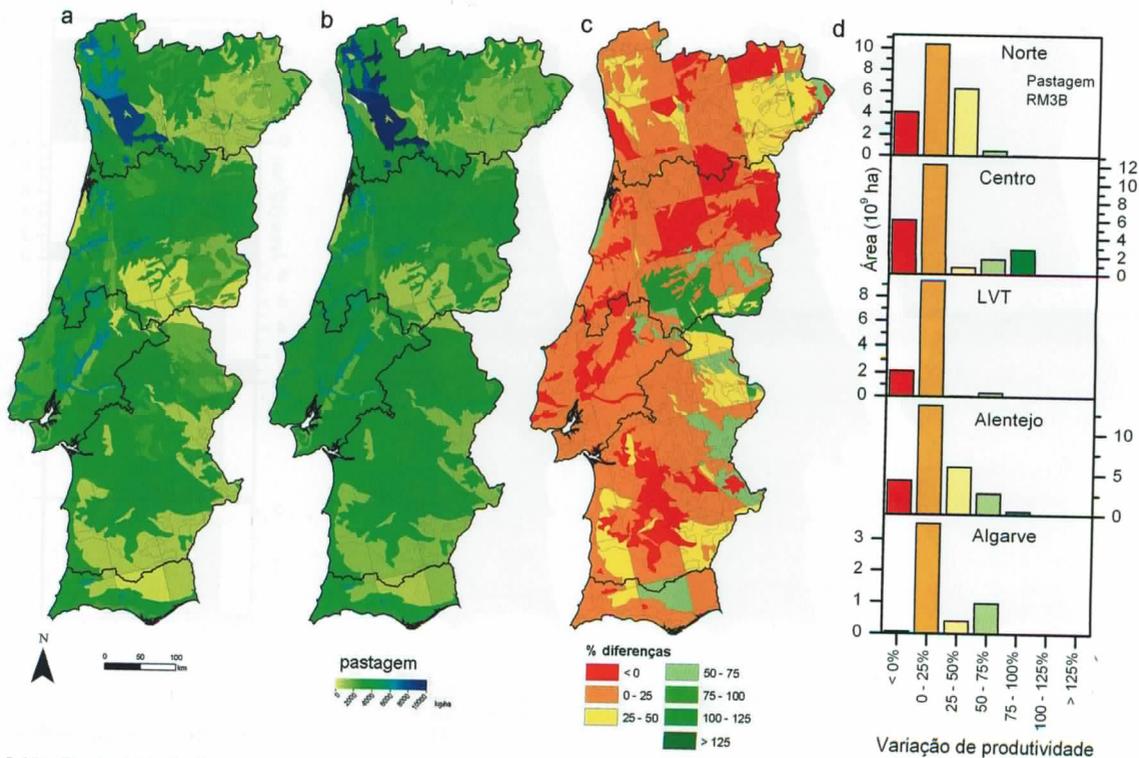


Figura 5.15 – Produtividade de pastagem simulada com dados do modelo HadRM3: a) controlo; b) cenário B2; c) variações de produtividade; d) histogramas da distribuição da área por classes de diferença de produtividade

localizadas mais a nordeste (Figura 5.10c,d). Para a situação actual, com os dados HadRM3, os resultados à escala regional são homogéneos (cerca de 4000 kg/ha). No futuro, a diminuição da produtividade das zonas menos produtivas é acentuada (Figuras 5.11c,d e 5.12c,d).

No caso das pastagens e forragens os resultados obtidos para as condições actuais são muito semelhantes para as duas séries climáticas utilizadas (Tabela 5.2). No futuro a terceira versão apresenta uma maior área com variações negativas de produtividade. Os aumentos de 0 a 25% são os mais frequentes (Figuras 5.14c,d e 5.15c,d). A zona sudeste do Centro regista os maiores acréscimos de produtividade em todos os cenários considerados (Figuras 5.13c,d, 5.14c,d e 5.15c,d).

### 5.3.2.3 Lisboa e Vale do Tejo

No que se refere à produtividade de trigo os resultados das simulações indicam impactos negativos em todos os cenários considerados, apesar de existirem diferenças de localização das zonas mais afectadas (Figuras 5.4c, 5.5c e 5.6c).

Situação idêntica é verificada na produtividade de milho (Figura 5.7c). No caso do modelo HadRM3, os resultados de controlo assumem valores bastante realistas (produtividade potencial média da região cerca de 10 000 kg/ha). As menores perdas de produtividade média são simuladas no caso do cenário B2 (Figura 5.9c,d).

Também no caso do arroz, todos os cenários se traduzem em importantes perdas de produtividade potencial. As maiores perdas de produtividade observam-se no cenário HadRM2-IS92a (-62%) (Tabela 5.2). Nos cenários futuros é de realçar a gradação da variação que se prevê do litoral para o interior (Figuras 5.10c, 5.11c e 5.12c). Os dados HadRM3 conduzem igualmente a um decréscimo de produtividade, mas este é mais evidente no cenário A2 do que no cenário B2 (Figuras 5.11c,d e 5.12c,d).

As pastagens e forragens apresentam mapas da situação de controlo e do futuro bastante semelhantes para os diferentes cenários. Apesar dos valores das produtividades estimadas não coincidirem rigorosamente, a distribuição destas pela região é idêntica. As zonas limítrofes dos rios Tejo e Sorraia são as que apresentam melhores resultados, no presente e no futuro (Figuras 5.13, 5.14, 5.15 e Tabela 5.2).

### 5.3.2.4 Alentejo

Em qualquer dos cenários climáticos são simuladas perdas de produtividade de trigo no Alentejo, com valores médios

muito próximos (-15% e -12%). O mesmo se passa em relação ao milho, mas com perdas mais elevadas (-32% a -18%). As perdas são mais acentuadas no interior do território (Figuras 5.7c,d, 5.8c,d e 5.9c,d).

Na situação de controlo, a produtividade média do arroz com o modelo HadRM2 é elevada, cerca de 5179 kg/ha (Tabela 5.2). O litoral é a zona do Alentejo que apresenta um maior potencial de produtividade. No futuro esta versão leva a uma diminuição acentuada da produtividade, deixando de haver diferenças de rendimento na região (Figura 5.10b). O comportamento simulado da cultura do arroz é muito semelhante, quer se utilizem dados HadRM2 quer dados HadRM3. A única diferença a referir é o valor inferior da produtividade para as condições actuais com os dados do HadRM3. As variações registadas são muito importantes (no geral inferiores a -75%), sendo o cenário B2 aquele que regista uma maior área com decréscimos de -75 a -50% (Figuras 5.11, 5.12 e Tabela 5.2).

Tal como na região LVT, os mapas do Alentejo para as pastagens e forragens são bastante semelhantes. Os resultados são próximos em valor de produtividade, e de distribuição destes pela região, considerando as condições de controlo e de futuro. O centro da região é a zona mais afectada (Figuras 5.13, 5.14 e 5.15). A maior área com variações negativas foi registada com os dados HadRM3, o que conduziu a acréscimos médios de 14% e 12%, no caso dos cenários A2 e B2, respectivamente (Tabela 5.2).

### 5.3.2.5 Algarve

Na região do Algarve são simuladas, em todos os cenários climáticos, perdas importantes de produtividade em trigo, milho e arroz e ganhos em pastagem.

No caso do trigo, 68% da área apresenta decréscimos de produtividade no cenário HadRM2-IS92a, enquanto que com os dados do HadRM3 se estima uma diminuição da produtividade em toda a região (Figuras 5.4c,d, 5.5c,d, 5.6c,d e Tabela 5.2).

Os mapas futuros da cultura do milho são idênticos para as duas versões e cenários em análise. As variações sofridas são da mesma grandeza em todas as situações consideradas (Figuras 5.7c,d, 5.8c,d e 5.9c,d).

No presente e no futuro, a produtividade estimada de arroz para as zonas do litoral é superior à das zonas do interior (Figuras 5.10, 5.11 e 5.12). Os resultados alcançados no futuro com os dados do HadRM3 diferem consoante o cenário. No cenário A2 as variações foram sempre inferiores a -75%,

enquanto que no cenário B2 as variações foram menos evidentes (inferiores a -50 %) (Figuras 5.11c,d e 5.12c,d).

As pastagens e forragens tal como noutras regiões apresentam mapas análogos. As áreas com variações negativas são pontuais. Aumentos de produtividade superiores a 50 %, para 21 % da área da região, foram conseguidos com o modelo HadRM2 (Figuras 5.13, 5.14 e 5.15).

### 5.3.2.6 Portugal Continental

Por observação da Tabela 5.2 é possível comparar as mudanças registadas num cenário de alteração climática entre as diferentes regiões. As diferenças observadas entre os dois modelos climáticos, HadRM2 e HadRM3, podem também ser assinaladas.

Nas condições actuais, no caso da cultura do trigo, a maior produtividade média do Continente é obtida com os dados climáticos do HadRM3. Entre a situação de controlo e a futura, a variação é negativa para quase todas as regiões e modelos considerados – a variação mais negativa acontece para a versão 2 do modelo climático. As regiões Alentejo e Algarve registaram diminuições percentuais aproximadamente da mesma ordem de grandeza para os dois modelos utilizados. As regiões Norte, Centro e LVT apresentam decréscimos maiores para o modelo HadRM2 do que para o HadRM3. No futuro há uma maior homogeneização dos resultados, uma vez que o desvio-padrão das produtividades em Portugal Continental é menor na situação futura do que na situação actual.

Tal como no trigo, nas condições actuais, os valores mais elevados da produtividade do milho são alcançados com os dados climáticos do modelo HadRM3. Apesar de com esta versão do modelo o Norte e Centro atingirem produtividades superiores em relação ao resto do país, com o modelo HadRM2 esta distribuição geográfica das produtividades não acontece. A variação percentual do Continente é negativa com os dados do modelo HadRM2, embora seja de destacar o valor positivo na região Norte. Tal acontece porque existem algumas zonas em que os resultados das simulações para as condições actuais foram nulos. No futuro, para todas as regiões excluindo o Centro, as condições do cenário B2 são as que proporcionam uma menor diminuição da produtividade. Por análise dos mapas nacionais, constata-se que o interior é prejudicado para ambos os modelos climáticos.

No futuro, os valores do desvio-padrão nacional são inferiores aos calculados no presente com dados do HadRM2 e superiores aos actuais com dados do HadRM3.

Em relação ao arroz, na situação de controlo, com os dados do HadRM2 a região de Algarve e LVT são as regiões mais produtivas, contudo com a terceira versão estas são substituídas pelo Centro e LVT. O Alentejo e o Algarve são as regiões mais prejudicadas no futuro com os dados climáticos de ambas as versões. A região Norte regista uma variação positiva elevada (139 %) devido à razão apontada no caso do milho. Ao comparar os resultados do cenário A2 com os do cenário B2, este último conduz a um menor decréscimo da produtividade. Também para o arroz se detecta uma maior redução na produtividade para o interior do que para o litoral do país.

A variação do desvio-padrão médio de Portugal Continental entre a situação actual e futura é oposta para os dois modelos considerados, tal como verificado no milho. Com os dados do HadRM2 os valores do futuro são inferiores aos actuais e o contrário acontece com os dados do HadRM3.

As pastagens e forragens são a única cultura que verifica um aumento de produtividade em todas as situações consideradas. A nível do Continente não se registaram grandes diferenças dos valores médios de produtividade e do desvio-padrão entre as versões do modelo climático e cenários considerados. No futuro, para ambas as versões, a região LVT é a mais produtiva e o Algarve é a zona do país com menores valores de produtividade. O modelo HadRM2 proporciona maiores aumentos no futuro do que qualquer um dos cenários do modelo HadRM3. Entre o cenário A2 e o B2 é o A2 que proporciona maiores acréscimos em todas as regiões excepto na região LVT, ou seja, o cenário A2 é o mais favorável ao contrário do verificado nas outras culturas.

A região LVT, por ser a região que nas condições actuais atinge maior produtividade, é a região que no futuro apresenta um menor acréscimo dos resultados, porque os mapas futuros de produtividade são mais homogêneos entre as regiões do que os mapas actuais.

## 5.4 DISCUSSÃO

Neste estudo estimaram-se os impactos da mudança climática sobre a produtividade de culturas anuais em Portugal Continental. Haveria todo o interesse em estender a análise de culturas permanentes, como é o caso da vinha e do olival, caracterizadas por grandes áreas de ocupação e rendimento. No entanto, a inexistência de modelos de simulação de produtividade amplamente divulgados para estas culturas impossibilitou o seu estudo.

Mesmo os modelos incluídos na aplicação DSSAT apresentam algumas limitações. Assim, as pastagens e forragens

foram simuladas com um modelo específico para a espécie *Paspalum notatum*, quando o mais indicado seria utilizar um modelo para uma consociação leguminosa-gramínea. Apesar de serem vários os modelos disponíveis (Parton *et al.*, 1994) nenhum se apresentou como alternativa ao CROPGRO da colecção DSSAT. Entre os modelos capazes de simular pastagens e forragens são de referir o CENTURY (Schimel *et al.*, 1990), o Grassland Ecosystem Model (Hunt *et al.*, 1991), o modelo SPUR (Hanson *et al.*, 1992) e o WOFOST (Hijmans *et al.*, 1994, e Supit *et al.*, 1994). A não utilização destes modelos deveu-se à dificuldade de obtenção de todos os dados de entrada necessários. O modelo CERES-Rice (Braga, 1996), apesar de actualizações recentes continua a demonstrar algumas falhas na simulação da cultura do arroz nas condições climáticas portuguesas.

Para além de uma avaliação da produtividade obtida num cenário de alteração climática interessaria caracterizar a qualidade dos produtos agrícolas. Esta característica é sobretudo importante para os produtos cujo valor comercial é proporcional à qualidade. Um indicador utilizado para a valorização económica do produto é, por exemplo, a avaliação do teor em açúcar, no caso das culturas de beterraba sacarina, tomate e uva. Bindi *et al.* (2000) apresentaram um submodelo capaz de estimar a qualidade da uva, modelo este que poderá vir a ser utilizado em trabalhos futuros.

Os modelos climáticos de circulação geral simulam o clima e são utilizados para analisar as consequências do aumento da concentração dos gases de estufa. Apesar de serem uma ferramenta amplamente utilizada, os modelos climáticos ainda não foram validados na previsão da variabilidade climática, como por exemplo a alteração da frequência de ocorrência de períodos de cheia e de seca. Estes fenómenos afectam significativamente a produtividade das culturas (Rosenzweig *et al.*, 1998a, 1998b).

O cálculo do número de dias disponíveis para se realizarem determinadas operações agrícolas dependentes das condições meteorológicas, nomeadamente os trabalhos de preparação do solo, poderá contribuir para o planeamento da actividade agrícola. Para uma dada região e operação cultural é possível definir datas limite entre as quais uma operação pode ser realizada nas melhores condições de execução. Seria interessante avaliar se a mudança climática implicará alterações daquelas datas limite.

Em todas as simulações efectuadas considerou-se que as culturas não seriam afectadas nem por pragas nem por doenças, e o efeito negativo das infestantes não foi avaliado. Este facto constitui uma das limitações dos modelos compilados na aplicação DSSAT (Rosenzweig *et al.*, 1998b). Quando a interacção de pragas, doenças e infestantes na produtividade

das culturas vier a ser considerada poderá optar-se por uma interligação entre modelos de simulação de pragas e doenças com os modelos de simulação de culturas (Teng *et al.*, 1998).

Neste trabalho não se estudaram medidas de adaptação. Contudo, no caso de estudo do vale do Sado concluiu-se que a alteração da data de sementeira poderá contribuir para minimizar as perdas de produtividade previstas em cenários de aquecimento global.

## 5.5 CONCLUSÕES

Uma avaliação em agricultura é sempre complexa, devido à natureza da actividade agrícola. Trata-se de uma actividade muito diversificada, dependente de múltiplos factores ambientais, e que trabalha com seres vivos. Neste trabalho, por razões de exequibilidade, apenas foram estudadas quatro culturas. No entanto, considera-se que estas culturas reflectem uma tendência que poderá ser extrapolada para outras não analisadas.

Ao observar os mapas de produtividades constatou-se que as culturas de regadio (milho e arroz) demonstraram uma maior dependência em relação aos dados climáticos do que em relação aos dados edáficos (solos), verificando-se que as áreas mais homogêneas de produtividade se encontram agrupadas segundo os polígonos climáticos. Tal não acontece com as culturas de sequeiro (trigo e pastagens e forragens).

Os dados climáticos das simulações de controlo apresentam, como seria de esperar, diversas imperfeições, encontrando-se diferenças significativas entre as simulações realizadas com os dois modelos regionais representativas do clima actual. No entanto, como é comum em estudos de impacto espera-se que as anomalias (diferenças entre as produtividades de controlo e futuras, para o mesmo modelo) sejam representativas do impacto da mudança climática.

Assim, nos cenários futuros, à excepção das pastagens e forragens, todas as culturas apresentam uma diminuição de produtividade. Em geral, quando há decréscimos de produtividade estes são menores no cenário B2 do que no cenário A2. O aumento previsto da concentração de gases de efeito estufa é superior no cenário A2 do que no cenário B2, logo a alteração climática será mais acentuada no cenário A2.

O estudo de possíveis medidas de adaptação e da sua inter-relação com as produtividades futuras é fundamental para contrariar os impactos negativos. As medidas de adaptação têm como objectivo adaptar as culturas/técnicas seguidas às futuras condições climáticas.

## 5.6 REFERÊNCIAS

- Braga, R., 1996, Avaliação do modelo CERES-Rice – análise de sensibilidade, validação e qualidade dos dados climáticos, Curso de Mestrado em Produção Agrícola Tropical, Lisboa, Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa.
- Bindi, M., Fibbi, L., Lanini, M. e Miglietta, F., 2000, Effects of elevated carbon dioxide on grapevine. In *Climate change, Climatic Variability and Agriculture in Europe – an integrated assessment*, editado por T. E. Downing, P. A. Harrison, R. E. Butterfield, e K. G. Lonsdale, Research Report n.º 21, 71-81, Oxford, UK, Environmental Change Institute, University of Oxford.
- Downing, T. E., Harrison, P. A., Butterfield, R. E. e Lonsdale, K. G., 2000, Climate change, Climatic Variability and Agriculture in Europe – an integrated assessment. Research Report n.º 21, xi, Oxford, UK, Environmental Change Institute, University of Oxford.
- Direcção-Geral do Ambiente, 1971, Reprodução da Carta de Solos do Serv. de Reconhec. e Ord. Agrário, Delineada por J. C. Cardoso, M. T. Bessa e M. B. Marado. Disponível no dia 5 de Novembro de 2002, no site do Instituto de Ambiente: [http://www.iambiente.pt/atlas/c\\_tiposolo.html](http://www.iambiente.pt/atlas/c_tiposolo.html). In P. A. Pinto, A. P. Brandão, F. Lemos, e R. Braga, Operacionalização de uma carta de solos 1:1 000 000. O solo – factor de qualidade ambiental. Encontro Nacional da Sociedade Portuguesa da Ciência do Solo, 27, Escola Superior Agrária de Coimbra, Julho 2003.
- Faure, J. e Mazaud, F., 1995, Rice quality in the European Union. *Agriculture et développement*, 2-12. Disponível em 3 de Dezembro de 2003 em: [http://www.riceweb.org/g\\_overeuro.htm](http://www.riceweb.org/g_overeuro.htm).
- Faio, M., 1991, Clima e Agricultura: exigências climáticas das principais culturas e potencialidades agrícolas do nosso clima, Lisboa, Ministério da Agricultura, Pescas e Alimentação.
- Gonçalves, M. C., Pereira, L. S. e Leij, F. J., 1997, Pado-transfer functions for estimating unsaturated hydraulic properties of Portuguese soils, *European Journal of Soil Science* 48: 387-400. In P. A. Pinto, A. P. Brandão, F. Lemos, e R. Braga. Operacionalização de uma carta de solos 1:1 000 000. O solo – factor de qualidade ambiental. Encontro Nacional da Sociedade Portuguesa da Ciência do Solo, 27, Escola Superior Agrária de Coimbra, Julho 2003.
- Hanson, J. D., Baker, B. B. e Bourdon, R. M., 1992, The effect of climate change on rangeland livestock production: a theoretical approach, *Agricultural Systems (in press)*. In W. J. Parton, e D. S. Ojima. Environmental change in grasslands: assessment using models, *Climatic Change* 20(1-2), 111-141.
- Hijmans, R. J., Guiking-Lens, I. M. e Diepen, C. A. van, 1994, WOFOST 6.0, User's guide for the WOFOST 6.0 crop growth simulation model, Technical Document 12. Wageningen, The Netherlands, DLO Winand Staring Centre.
- Hoogenboom, G., Wilkens, P. W. e Tsuji, G. Y. (Eds.), 1999, *DSSAT v3, volume 4*, Honolulu, Hawaii, University of Hawaii.
- Hoogenboom, G., J.W. Jones, P.W. Wilkens, C.H. Porter, W.D. Batchelor, L.A. Hunt, K.J. Boote, U. Singh, O. Uryasev, W.T. Bowen, A.J. Gijnsman, A. du Toit, J.W. White, and G.Y. Tsuji, 2004, Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT) Version 4.0 [CD-ROM], University of Hawaii, Honolulu, HI.
- Hulme, M., Jenkins, G. J., Lu, X., Turnpenny, J. R., Mitchell, T. D., Jones, R. G., Lowe, J., Murphy, J. M., Hassell, D., Boorman, P., McDonald, R. e Hill, S., 2002, Climate Change Scenarios for the United Kingdom, The UKCIP02 Scientific Report, UK, Tyndall Centre for Climate Change Research, School of Environmental sciences, Un. East Anglia.
- Hunt, H. W., Trlica, M. J., Redente, E. F., Moore, J. C., Detling, J. K., Kittel, T. G. F., Walter, D. E., Fowler, M. C., Klein, D. A. e Elliott, E. T., 1991, Simulation Model for the effects of climate change on temperate grasslands ecosystems, *Ecol. Modell.* 53, 205-246. In W. J. Parton, e D. S. Ojima. Environmental change in grasslands: assessment using models, *Climatic Change* 20 (1-2), 111-141.
- INE, 1999, Inquérito à Estrutura das Explorações Agrícolas, 1997, Lisboa, INE.
- INE, 2001, Recenseamento Geral Agrícola, 1999, Lisboa, INE.
- INE, 2003, Estatísticas agrícolas, 2002, Lisboa, INE. Disponível em 26 de Novembro de 2003, no site do INE: <http://www.ine.pt/prodserv/quadros/periodo.asp>.
- Jones, J.W., G. Hoogenboom, C.H. Porter, K.J. Boote, W.D. Batchelor, L.A. Hunt, P.W. Wilkens, U. Singh, A.J. Gijnsman, and J.T. Ritchie, 2003, DSSAT Cropping System Model, *European Journal of Agronomy*, 18, 235-265.
- Jones, R. G., Murphy, J. M. e Noguer, M., 1995, Simulation of climate change over Europe using a nested regional-climate model. I: Assessment of control climate, including sensitivity to location of lateral boundaries, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 121, 1413-1449.
- Jones, R. G., Murphy, J. M. Noguier, M. e Keen, A. B., 1997, Simulation of climate change over Europe using a nested regional-climate model. II: Comparison of driving and regional model responses to a doubling of carbon dioxide, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 123, 265-292.
- Jones, J. W., Tsuji, G. Y., Hoogenboom, G., Hunt, L. A., Thornton, P. K., Wilkens, P. W., Imamura, D.T., Bowen, W.T. e Singh, U., 1998, Decision support system for agrotechnology transfer; DSSAT v3. In *Understanding Options for Agricultural Production. Systems Approaches for Sustainable Agricultural Development*, editado por G. Y. Tsuji, G. Hoogenboom e P. K. Thornton, 157-177, Dordrecht, Kluwer Academic Publishers.
- Ozawa, Y., 1964, Agriculture and Climate, In *Hand book of Agricultural Meteorology*, editado por Tsuboi et al., 266-292, Yokendo, Tokyo (in Japanese), In *Climate Change and Global Crop Productivity*, editado por K. R. Reddy e H. F. Hodges, 84, Wallingford, CAB Publishing.
- Parton, W. J. e Ojima, D. S., 1994, Environmental change in grasslands: assessment using models, *Climatic Change* 20 (1-2), 111-141.
- Pinto, P. A. e Brandão, A. P., 2002, Agriculture. In *Climate Change in Portugal. Scenarios, Impacts and Adaptation Measures – SIAM Project*, F.D. Santos, K. Forbes e R. Moita (eds.), 221-239, Lisboa, Gradiva.
- Pinto, P. A., Brandão, A. P., Lemos, F. e Braga, R., 2003, Operacionalização de uma carta de solos 1:1 000 000. O solo – factor de qualidade ambiental. Encontro Nacional da Sociedade Portuguesa da Ciência do Solo, 27, Escola Superior Agrária de Coimbra, Julho 2003.
- Rosenzweig, C. e Iglesias, A., 1998b, The use of crop models for international climate change impact assessment, In *Understanding Options for Agricultural Production. Systems Approaches for Sustainable Agricultural Development*, editado por G. Y. Tsuji, G. Hoogenboom, e P. K. Thornton, 157-177, Dordrecht, Kluwer Academic Publishers.
- Rosenzweig, C. e Hillel, D., 1998a, *Climate Change and the global harvest – potential impacts of the greenhouse effect on agriculture*, New York, Oxford University Press.
- Saxton, K. E., Rawls, W. J., Romberger, J. S., Papendick, R. L., 1986, Estimating generalized soil water characteristics from texture, *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 50(4), 1031-1036. In P. A. Pinto, A. P. Brandão, F. Lemos e R. Braga. Operacionalização de uma carta de solos 1:1 000 000. In O solo – factor de qualidade ambiental. Encontro Nacional da Sociedade Portuguesa

- da Ciência do Solo, 27, Escola Superior Agrária de Coimbra, Julho 2003.
- Schimel, D. S., Parton, W. J., Kittel, T. G. F., Ojima, D. S., e Cole, C. V., 1990, Grassland biogeochemistry: links to atmospheric Processes, *Climatic Change* 17, 13-25, In W. J. Parton, e D. S. Ojima. Environmental change in grasslands: assessment using models, *Climatic Change* 20 (1-2), 111-141.
- Supit, I., Hooijer, A. A., van Diepen, C. A. (eds.), 1994, System description of the WOFOST 6.0 crop simulation model implemented in CGMs. Volume 1: Theory and Algorithms, An Agricultural Information System for the European Community, Joint Research Centre, Luxembourg, European Commission.
- Teng, P. S., Batchelor, W. D., Pinnschmidt, H. O. e Wilkerson, G. G., 1998, Simulation of pest effects on crops using coupled pest-crop models: the potential for decision support, In Understanding Options for Agricultural Production. Systems Approaches for Sustainable Agricultural Development, editado por G. Y. Tsuji, G. Hoogenboom, e P. K. Thornton, 221-266, Dordrecht, Kluwer Academic Publishers.
- Wigley, T. M. L., 1987, Climate scenarios. Prepared for the European Workshop, In Interrelated Bioclimate and Land Use Changes. National Center for Atmospheric Research, NCAR 3142-86-3, In Understanding Options for Agricultural Production. Systems Approaches for Sustainable Agricultural Development, editado por G. Y. Tsuji, G. Hoogenboom, e P. K. Thornton, 271. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers.
- Wösten, J. H. M., Pachepsky, Ya. A., Rawls, W. J., 2001, Pedotransfer functions: bridging the gap between available basic soil data and missing soil hydraulic characteristics, *Journal of Hydrology*, 251, 123-150, In P. A. Pinto, A. P. Brandão, F. Lemos e R. Braga. Operacionalização de uma carta de solos 1:1 000 000. O solo – factor de qualidade ambiental. Encontro Nacional da Sociedade Portuguesa da Ciência do Solo, 27, Escola Superior Agrária de Coimbra, Julho 2003.

