



**INSTITUTO POLITÉCNICO
- DE VIANA DO CASTELO**

Avaliação Bioclimática da Região Demarcada dos Vinhos Verdes (NW
Portugal): Definição de Unidades Homogéneas para a gestão vitivinícola num
contexto de Alterações Climáticas.

Dissertação de Mestrado

Engenharia do Território e Ambiente

Renato Miguel Pereira da Silva

Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Viana do Castelo, novembro de 2025



**INSTITUTO POLITÉCNICO
DE VIANA DO CASTELO**

Renato Miguel Pereira da Silva

**Avaliação Bioclimática da Região Demarcada dos Vinhos Verdes (NW
Portugal): Definição de Unidades Homogéneas para a gestão vitivinícola num
contexto de Alterações Climáticas.**

Dissertação de Mestrado

Engenharia do Território e Ambiente

Trabalho efetuado sob orientação de:

Professor Doutor Joaquim Mamede Alonso

Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Viana do Castelo, novembro de 2025

*As doutrinas expressas neste trabalho são
da exclusiva responsabilidade do autor.*

Índice

LISTA DE ABREVIATURAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE QUADROS	xii
ÍNDICE DE EQUAÇÕES	xiii
RESUMO.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
AGRADECIMENTOS	xvi
1. INTRODUÇÃO	1
2. A VINHA, O <i>TERROIR</i> E AS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS.....	4
2.1. Origem botânica e distribuição geográfica.....	4
2.2. Ciclo fenológico da vinha e dependência climática	5
2.3. Sensibilidade da vinha às variações climáticas	7
2.4. O conceito de <i>Terroir</i> . Fatores incluídos e interações	9
2.4.1. Fatores naturais: clima como elemento central.....	9
2.4.2. O papel do fator humano na expressão do <i>Terroir</i>	10
2.4.3. O <i>Terroir</i> e a zonagem vitivinícola	10
2.5. Alterações climáticas e a vitivinicultura	11
2.6. Índices bioclimáticos aplicados à vitivinicultura	15
2.7. Zonagem vitivinícola e definição de Unidades Bioclimáticas Homogêneas (UBH) 16	
2.7.1. Aplicações práticas e relevância estratégica	18
2.8. Possíveis impactes e estratégias de adaptação alternativas	19
3. METODOLOGIA	22
3.1. Cenarização climática	25
3.2. Cálculo de índices bioclimáticos.....	29
3.2.1. Índices térmicos / Heliotérmicos	30
3.2.1.1. Índice de Winkler (IW)	30
3.2.1.2. Índice heliotérmico de Huglin (IH)	31
3.2.1.3. Índice Heliotérmico de Branas (BHI)	32
3.2.1.4. Índice de frescura das noites (IFN)	33
3.2.1.5. Índice bioclimático de Hidalgo (IBC).....	33
3.2.1.6. Índice de Stress Térmico (HSI).....	34
3.2.1.7. Temperatura média do mês mais quente (ATWM).....	34
3.2.1.8. Temperatura média no mês da colheita (ATHM)	35
3.2.2. Índices Hidrotérmicos	36

3.2.2.1.	Índice Hidrotérmico de Branas, Bernon e Lavadoux (BBLI/P).....	36
3.2.2.2.	Índice hidrotérmico de Selianinov (K/HIS)	37
3.2.2.3.	Evapotranspiração Potencial (ETP)	37
3.2.2.4.	Precipitação acumulada em agosto e setembro (PP0809).....	38
3.3.	Recolha de pontos de referência (ground-truth points).....	39
3.4.	Caracterização e evolução bioclimática das sub-regiões da Região Demarcada dos Vinhos Verdes.....	40
3.5.	Normalização dos Índices Bioclimáticos	40
3.6.	Análise de Componentes Principais (PCA)	41
3.7.	Classificação Não Supervisionada (ISO Cluster).....	41
3.8.	Classificação Supervisionada por Máxima Verosimilhança (MLC).....	42
3.9.	Hierarquização das Unidades Bioclimáticas Homogêneas	42
3.10.	Avaliação da intensidade da alteração entre unidades bioclimáticas homogêneas.....	43
3.11.	Diagnóstico bioclimático do setor vitivinícola: Indicadores e Impactes	44
4.	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS	52
4.1.	Caracterização da sub-região dos vinhos verdes.....	52
4.2.	Análise dos índices bioclimáticos	54
4.2.1.	Índices heliotérmicos	54
4.2.1.1.	Caracterização/Evolução dos índices heliotérmicos por sub-região	59
4.2.2.	Índices hidrotérmicos.....	69
4.2.2.1.	Caracterização/Evolução dos índices hidrotérmicos por sub-região.....	73
4.3.	Análise de Componentes Principais (PCA)	79
4.3.1.	Análise das relações de covariância.....	91
4.4.	Definição de unidades homogêneas bioclimáticas.....	95
4.4.1.	Evolução das unidades bioclimáticas homogêneas em contexto de alterações climáticas	99
4.4.2.	Definição da Intensidade da alteração nas Unidades Bioclimáticas homogêneas	107
4.5.	Diagnóstico bioclimático das explorações vitivinícolas: Indicadores e Impactes ..	111
4.5.1.	Potencial heliotérmico acumulado	111
4.5.2.	Condições térmicas de maturação.....	123
4.5.3.	Indicadores hidrotérmicos.....	133
4.5.4.	Indicadores agroclimáticos compostos	144
4.5.5.	Intensidade da alteração bioclimática	155
5.	Conclusão.....	168
6.	Referências Bibliográficas	172
	ANEXOS	187

ANEXO I – Potencial heliotérmico acumulado.....	188
---	-----

LISTA DE ABREVIATURAS

°C – Grau Celsius.

AC – Alterações Climáticas.

AR6 — Sexto Relatório de Avaliação do IPCC (Sixth Assessment Report).

ATHM — Temperatura média do mês da colheita (Average Temperature of the Harvest Month).

ATWM — Temperatura média do mês mais quente (Average Temperature of the Warmest Month).

BBLI - Índice Hidrotérmico de Branas, Bernon e Lavadoux.

BHI – Índice heliotérmico de Branas.

CH₄ – Metano.

CO₂ – Dióxido de Carbono.

COS – Carta de Uso e Ocupação do Solo.

DOP – Denominação de Origem Protegida.

Es — Evaporação mensal do solo.

ET₀ – Evapotranspiração Potencial.

ETP — Evapotranspiração potencial pelo método de Hargreaves-Samani.

GEE – Gases com Efeito de Estufa.

HIS - Índice hidrotérmico de Selianinov.

HSI – Índice de stress térmico.

IB – Índices Bioclimáticos.

IBC – Índice bioclimáticos de Hidalgo.

IFN – Índice de Frescura das Noites.

IGP – Indicação Geográfica Protegida.

IH – Índice Heliotérmico de Huglin.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change / Painel Intergovernamental para as Alterações Climáticas.

IW – Índice de Winkler.

K - Índice hidrotérmico de Selianinov.

N₂O – Dióxido de Azoto.

OIV – Organização Internacional da Vinha e do Vinho.

P – Índice Hidrotérmico de Branas, Bernon e Lavadoux
PP0809 - Precipitação acumulada em agosto e setembro.

PCA – Principal Component Analysis / Análise de Componentes Principais.

PP0809 — Precipitação acumulada em agosto e setembro.

RCP – Representative Concentration Pathway / Trajetória de Concentração Representativa.

RDVV – Região Demarcada dos Vinhos Verdes.

SIG – Sistema de Informação Geográfica.

SSP – Shared Socioeconomic Pathway / Trajetória Socioeconómica Partilhada.

SSP1-1.9 — Caminho Socioeconómico Partilhado, cenário de emissões muito baixo (Very Low Emissions Scenario).

SSP2-4.5 — Caminho Socioeconómico Partilhado, cenário de emissões intermédio (Intermediate Emissions Scenario).

SSP5-8.5 — Caminho Socioeconómico Partilhado, cenário de emissões muito elevado (Very High Emissions Scenario).

TV — Evapotranspiração mensal da vinha.

UBH – Unidades Bioclimáticas Homogéneas.

UTB – Unidade de Terroir de Base.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Família das Vitáceas Fonte: (Reynier, 2004).....	5
Figura 2.2. Ciclo vegetativo da Vinha. (Fonte: Reynier, 2004). Legenda: 1: Lançar gomos e rebentos; 2: Uvas começam a pintar; 3: Desenvolvimento das varas.....	7
Figura 2.3. Índices Winkler e Huglin na Europa para o período de 1950 a 2009 (à esquerda) e a diferença entre os períodos 1980-2009 e 1950-1979 (à direita) (Fonte: (Fraga et al., 2012).....	13
Figura 2.4. Floração média modelada (A) e datas de colheita (B) para Merlot em Avignon (avi), Bordeaux (bor), Colmar (col), Dijon (dij) e Toulouse (tou). RP = passado recente (1971–2000), NF = Futuro próximo (2020–2050) e DF = Futuro distante (2070–2100). Adaptado de Van Leeuwen e Darriet (2016).....	14
Figura 2.5. (a) A tendência na data de floração e de maturação da variedade de vinha <i>Riesling</i> cultivada na região vinícola da Alsácia, França (b) A variância do teor de açúcar e acidez total para a casta <i>Cabernet</i> , cultivada no Vale do Loire e, mais especificamente, nas zonas vitivinícolas de <i>Anjou</i> , <i>Saumur</i> , <i>Bourgueil</i> e <i>Chinon</i> (Fonte:(Neethling et al., 2016).....	14
Figura 2.6. Definição de estratégias de adaptação às alterações climáticas: curto, médio e longo prazo. Adaptado de: (Neethling et al., 2016).....	21
Figura 3.1. Fluxograma metodológico.	25
Figura 3.2. Evolução do forçamento radioativo W/m^2	26
Figura 3.3. Emissões de CO_2 entre os RCP's (à esquerda) e tendências nas concentrações de CO_2 (à direita).....	27
Figura 4.1. Enquadramento geográfico da área de estudo.....	53
Figura 4.2. Distribuição espacial e evolução em contexto de alterações climáticas do Índice de Winkler (IW), Índice heliotérmico de Huglin (IH) e Índice heliotérmico de Branas (BHI) para a Região Demarcada dos Vinhos Verdes.....	56
Figura 4.3. Distribuição espacial e evolução em contexto de alterações climáticas do Índice de frescura das noites (IFN), Índice bioclimático de Hidalgo (IBC) e índice de stress térmico (HSI) para a Região Demarcada dos Vinhos Verdes.	57
Figura 4.4. Distribuição espacial e evolução em contexto de alterações climáticas da Temperatura média do período mais quente (ATWM), Temperatura média no mês de colheita (ATHM) para a Região Demarcada dos Vinhos Verdes e do registo de geadas de inverno (WFR).....	58
Figura 4.5. Caracterização/Evolução do Índice de Winkler (WI) por sub-região da Região Demarcada dos Vinhos Verdes.....	60
Figura 4.6. Caracterização/Evolução do Índice heliotérmico de Huglin (IH) por sub-região da Região Demarcada dos Vinhos Verdes.	61
Figura 4.7. Caracterização/Evolução do Índice heliotérmico de Branas (BHI) por sub-região da Região Demarcada dos Vinhos Verdes.	62
Figura 4.8. Caracterização/Evolução do Índice de frescura das noites (IFN) por sub-região da Região Demarcada dos Vinhos Verdes.	63
Figura 4.9. Caracterização/Evolução do Índice bioclimático de Hidalgo (IBC) por sub-região da Região Demarcada dos Vinhos Verdes.	64

Figura 4.10. Caracterização/Evolução do Índice de stress térmico (HSI) por sub-região da Região Demarcada dos Vinhos Verdes.	65
Figura 4.11. Caracterização/Evolução da temperatura média no período mais quente (ATWM) por sub-região da Região Demarcada dos Vinhos Verdes.	66
Figura 4.12. Caracterização/Evolução da temperatura média no mês de colheita (ATWM) por sub-região da Região Demarcada dos Vinhos Verdes.	67
Figura 4.13. Distribuição espacial e evolução em contexto de alterações climáticas do índice hidrotérmico de Branas, Bernon e Lavadoux (BBLI) e Hidrotérmico de Selianinov (k) para a Região Demarcada dos Vinhos Verdes.	72
Figura 4.14. Distribuição espacial e evolução em contexto de alterações climáticas da evapotranspiração de referência pelo método de Hargreaves-Samani (ET0) e Precipitação acumulada no período de colheita (PP0809) para a Região Demarcada dos Vinhos Verdes.	73
Figura 4.15. Caracterização/Evolução do índice hidrotérmico de Branas Bernon e Lavadoux (BHI) por sub-região da Região Demarcada dos Vinhos Verdes.	74
Figura 4.16. Caracterização/Evolução do índice hidrotérmico de Selianinov (HIS) por sub-região da Região Demarcada dos Vinhos Verdes.	75
Figura 4.17. Caracterização/Evolução da Evapotranspiração de referência pelo método de método de Hargreaves-Samani (ETP) por sub-região da Região Demarcada dos Vinhos Verdes.	76
Figura 4.18. Caracterização/Evolução da precipitação média acumulada em agosto e setembro (ETP) por sub-região da Região Demarcada dos Vinhos Verdes.	77
Figura 4.19. Matriz de Correlação (Cenário de Referência 1960–1990).	81
Figura 4.20. Matriz de Correlação (RCP 4.5 2041-2070).	84
Figura 4.21. Matriz de Correlação (RCP 4.5 2071-2100).	85
Figura 4.22. Matriz de Correlação (RCP 8.5 2041-2070).	86
Figura 4.23. Matriz de Correlação (RCP 8.5 2071-2100).	87
Figura 4.24. Anomalias da Matriz de Correlação entre Índices Bioclimáticos – Cenário RCP 4.5 (2080).	89
Figura 4.25. Anomalias da Matriz de Correlação entre Índices Bioclimáticos – Cenário RCP 8.5 (2080).	90
Figura 4.26. Distribuição das Anomalias de Correlação.	91
Figura 4.27. Unidades Bioclimáticas Homogêneas – Nível VI (período de referência 1960–1990).	96
Figura 4.28. Dendrograma de agrupamento hierárquico das unidades bioclimáticas. ...	96
Figura 4.29. Unidades Bioclimáticas por Nível de Desagregação (período de referência: 1960–1990).	99
Figura 4.30. Unidades Bioclimáticas por Nível de Desagregação (RCP 4.5 (2041-2070)).	101
Figura 4.31. Unidades Bioclimáticas por Nível de Desagregação (RCP 4.5 (2071-2100)).	102
Figura 4.32. Unidades Bioclimáticas por Nível de Desagregação (RCP 8.5 (2041-2070)).	103
Figura 4.33. Unidades Bioclimáticas por Nível de Desagregação (RCP 4.5 (2071-2100)).	104
Figura 4.34. Evolução das unidades bioclimáticas, nível de desagregação 6, (N6) em contexto de alterações climáticas.	107
Figura 4.35. Intensidade de alteração das UBH (RCP 4.5).	109
Figura 4.36. Intensidade de alteração das UBH (RCP 8.5).	110

Figura 4.37. Avaliação da intensidade alteração por sub-região.....	111
Figura 4.38. Alteração no potencial heliotérmico acumulado no cenário 4.5.	115
Figura 4.39. Alteração no potencial heliotérmico acumulado no cenário 4.5.	116
Figura 4.40. Alteração no potencial heliotérmico acumulado no cenário 4.5.	117
Figura 4.41. Alteração no potencial heliotérmico acumulado no cenário 4.5.	118
Figura 4.42. Alteração no potencial heliotérmico acumulado no cenário 8.5.	119
Figura 4.43. Alteração no potencial heliotérmico acumulado no cenário 8.5.	120
Figura 4.44. Alteração no potencial heliotérmico acumulado no cenário 8.5.	121
Figura 4.45. Alteração no potencial heliotérmico acumulado no cenário 8.5.	122
Figura 4.46. Alteração das condições térmicas de maturação RCP 4.5.	125
Figura 4.47. Alteração das condições térmicas de maturação RCP 4.5.	126
Figura 4.48. Alteração das condições térmicas de maturação RCP 4.5.	127
Figura 4.49. Alteração das condições térmicas de maturação RCP 4.5.	128
Figura 4.50. Alteração das condições térmicas de maturação RCP 8.5.	129
Figura 4.51. Alteração das condições térmicas de maturação RCP 8.5.	130
Figura 4.52. Alteração das condições térmicas de maturação RCP 8.5.	131
Figura 4.53. Alteração das condições térmicas de maturação RCP 8.5.	132
Figura 4.54. Alteração nos indicadores hidrotérmicos RCP 4.5.	136
Figura 4.55. Alteração nos indicadores hidrotérmicos RCP 4.5.	137
Figura 4.56. Alteração nos indicadores hidrotérmicos RCP 4.5.	138
Figura 4.57. Alteração nos indicadores hidrotérmicos RCP 4.5.	139
Figura 4.58. Alteração nos indicadores hidrotérmicos RCP 8.5.	140
Figura 4.59. Alteração nos indicadores hidrotérmicos RCP 8.5.	141
Figura 4.60. Alteração nos indicadores hidrotérmicos RCP 8.5.	142
Figura 4.61. Alteração nos indicadores hidrotérmicos RCP 8.5.	143
Figura 4.62. Alteração nos indicadores agroclimáticos compostos RCP 4.5.	146
Figura 4.63. Alteração nos indicadores agroclimáticos compostos RCP 4.5.	147
Figura 4.64. Alteração nos indicadores agroclimáticos compostos RCP 4.5.	148
Figura 4.65. Alteração nos indicadores agroclimáticos compostos RCP 4.5.	149
Figura 4.66. Alteração nos indicadores agroclimáticos compostos RCP 4.5.	150
Figura 4.67. Alteração nos indicadores agroclimáticos compostos RCP 8.5.	151
Figura 4.68. Alteração nos indicadores agroclimáticos compostos RCP 8.5.	152
Figura 4.69. Alteração nos indicadores agroclimáticos compostos RCP 8.5.	153
Figura 4.70. Alteração nos indicadores agroclimáticos compostos RCP 8.5.	154
Figura 4.71. Alteração nos indicadores agroclimáticos compostos RCP 8.5.	155
Figura 4.72. Alteração na intensidade da alteração bioclimática no RCP 4.5.	158
Figura 4.73. Alteração na intensidade da alteração bioclimática no RCP 4.5.	159
Figura 4.74. Alteração na intensidade da alteração bioclimática no RCP 4.5.	160
Figura 4.75. Alteração na intensidade da alteração bioclimática no RCP 4.5.	161
Figura 4.76. Alteração na intensidade da alteração bioclimática no RCP 8.5.	162
Figura 4.77. Alteração na intensidade da alteração bioclimática no RCP 8.5.	163
Figura 4.78. Alteração na intensidade da alteração bioclimática no RCP 8.5.	164
Figura 4.79. Alteração na intensidade da alteração bioclimática no RCP 8.5.	165

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 3.1. Pressupostos sobre o RCP utilizados (4.5 e 8.5) (Bjørnæs, 2010; Comunidade Intermunicipal do Alto Minho, 2019; Mouta, 2019).	27
Quadro 3.2. Ficha técnica dos modelos e cenarização climática utilizada no estudo. ...	28
Quadro 3.3. Caracterização das regiões vitivinícolas segundo o índice de Winkler.....	30
Quadro 3.4. Valor do coeficiente de horas de sol.....	32
Quadro 3.5. Classes do índice heliotérmico de Huglin.	32
Quadro 3.6. Índice de frescura das noites; intervalos entre classes.....	33
Quadro 3.7. Risco de contaminação, segundo o Índice Hidrotérmico de Branas, Bernon e Lavadoux.	36
Quadro 3.8. Classes do índice hidrotérmico de Selianinov.....	37
Quadro 3.9. Descrição das alterações nas UBH.	43
Quadro 3.10. Sistema de classificação dos indicadores bioclimáticos.....	46
Quadro 4.1. Sub-regiões da Região Demarcada dos Vinhos Verdes (IVV, 2016).....	52
Quadro 4.2. Racio de “Eigenvalues” de cada componente principal.	92
Quadro 4.3. Matriz de covariância dos componentes principais selecionados.	95
Quadro 4.4. Síntese da evolução das UBH em contexto de alterações climáticas.	105

ÍNDICE DE EQUAÇÕES

Equação 3.1. Índice de Winkler. Legenda: <i>Tmin</i> - Temperatura mínima mensal, <i>Tmax</i> - Temperatura máxima mensal.....	30
Equação 3.2. Índice heliotérmico de Huglin. Legenda: <i>Tmédia</i> - Temperatura média, <i>Tmax</i> - Temperatura máxima, <i>d</i> - Coeficiente de horas de sol (1,02 a 1,06).....	31
Equação 3.3. Índice Heliotérmico de Branas. Legenda: <i>Tmédia</i> - Temperatura média, <i>h</i> - Radiação solar extraterrestre.	33
Equação 3.4. Índice de frescura das noites. Legenda: <i>Tmin</i> - Temperatura mínima.....	33
Equação 3.5. Índice bioclimático de Hidalgo. Legenda: <i>P</i> - Precipitação média <i>Tmédia</i> - Temperatura média, <i>I</i> - Iluminação eficaz.....	33
Equação 3.6. Índice de stress térmico. Legenda: <i>HSI</i> - Índice de stress térmico; <i>Tmax(07)</i> - Temperatura máxima no mês mais quente.	34
Equação 3.7. Temperatura média no mês mais quente. Legenda: <i>ATWM</i> - Temperatura média no mês mais quente <i>Tmédia (07)</i> - Temperatura média em julho.	35
Equação 3.8. Temperatura média no mês mais de colheita. Legenda: <i>ATHM</i> - Temperatura média no mês de colheita <i>Tmédia (09)</i> - Temperatura média em setembro.....	35
Equação 3.9. Índice Hidrotérmico de Branas, Bernon e Lavadoux. Legenda: <i>Tmédia</i> - Temperatura média, <i>P</i> - Precipitação média mensal.	36
Equação 3.10. Índice de frescura das noites. Legenda: <i>P</i> - Precipitação média <i>Tmédia</i> - Temperatura média.....	37
Equação 3.11. Evapotranspiração mensal. Legenda: <i>Tmax</i> - Temperatura máxima <i>Tmin</i> - Temperatura mínima, <i>ra</i> - radiação e <i>k</i> - Coeficiente empírico da equação.....	38
Equação 3.12. Evapotranspiração mensal da vinha.....	38
Equação 3.13. Evaporação mensal do solo.....	38
Equação 3.14. Precipitação acumulada em agosto e setembro. Legenda: <i>P</i> - Precipitação média <i>Tmédia</i> - Temperatura média.....	39
Equação 3.15. Fórmula de normalização. Legenda: <i>S</i> - valor normalizado; <i>R</i> – Valor Real; max (<i>R</i>) – Valor máximo real; min (<i>R</i>)- Valor mínimo real.....	40

RESUMO

A influência potencial do clima sobre a quantidade e qualidade da produção vitivinícola pode ser avaliada através de modelos espacialmente explícitos baseados em índices bioclimáticos. As alterações climáticas projetadas colocam em causa a definição de terroirs, a dinâmica fenológica da vinha e a tipicidade dos vinhos, com impactos sociais, económicos e ambientais a várias escalas.

Neste contexto, para a Região Demarcada dos Vinhos Verdes, foram utilizados dados climáticos de alta resolução (1 km) para caracterizar o cenário presente (1960–1990) e projetar os cenários RCP 4.5 e RCP 8.5 para 2041–2070 e 2071–2100. Foram calculados índices bioclimáticos relevantes para a vitivinicultura e aplicadas técnicas de análise multivariada (PCA) e classificação (ISO Cluster e Máxima Verosimilhança) para definir Unidades Bioclimáticas Homogéneas (UBH). Avaliou-se a sua evolução temporal e espacial, quantificando a intensidade de alteração e identificando zonas de estabilidade e de maior vulnerabilidade. Complementarmente, desenvolveu-se um sistema de diagnóstico agroclimático assente em 12 índices com interpretação agronómica direta, permitindo a identificação de riscos específicos, como stress térmico, défice hídrico ou elevada pressão fitossanitária.

Os resultados indicam um aumento generalizado do potencial térmico, maior frequência de condições de stress hídrico e uma tendência de homogeneização bioclimática, com deslocação das zonas de aptidão para altitudes e latitudes mais elevadas. As implicações incluem a necessidade de reorientação varietal, adaptação das práticas culturais e preservação de núcleos de estabilidade agroclimática.

A abordagem desenvolvida alia a análise a uma escala regional a um sistema operacional de apoio à decisão, capaz de fornecer informação aplicável à escala da exploração vitivinícola. Este modelo apresenta carácter replicável e constitui um contributo relevante para a adaptação e gestão sustentável da vitivinicultura em contexto de alterações climáticas.

Palavras chave: Vitivinicultura, Terroir, Unidades Bioclimáticas, Índices bioclimáticos, Alterações climáticas, Adaptação vitivinícola.

ABSTRACT

The potential influence of climate on the quantity and quality of wine production can be assessed through spatially explicit models based on bioclimatic indices. Projected climate change challenges the definition of terroirs, the phenological dynamics of the vine and the typicity of wines, with social, economic, and environmental impacts at multiple scales.

In this context, for the Demarcated Region of Vinho Verde, high-resolution climate data (1 km) were used to characterise the present-day scenario (1960–1990) and to project RCP 4.5 and RCP 8.5 scenarios for 2041–2070 and 2071–2100. Thirteen bioclimatic indices relevant to viticulture were calculated, and multivariate analysis (PCA) and classification techniques (ISO Cluster and Maximum Likelihood) were applied to define Homogeneous Bioclimatic Units (HBU). Their temporal and spatial evolution was assessed, quantifying the intensity of change and identifying zones of stability and higher vulnerability. Complementarily, an agroclimatic diagnostic system was developed based on 12 indices with direct agronomic interpretation, enabling the identification of specific risks such as heat stress, water deficit, or high phytosanitary pressure. The results indicate a general increase in thermal potential, more frequent water stress conditions, and a trend towards bioclimatic homogenisation, with a shift in suitability zones towards higher altitudes and latitudes. The implications include the need for varietal reorientation, adaptation of cultural practices, and preservation of agroclimatic stability nuclei.

The approach developed combines regional-scale analysis with an operational decision-support system capable of providing information applicable at the vineyard scale. This model is replicable and constitutes a relevant contribution to the adaptation and sustainable management of viticulture in the context of climate change.

Keywords: Viticulture, Terroir, Bioclimatic Units, Bioclimatic Indices, Climate Change, Vitivinicultural Adaptation

AGRADECIMENTOS

Agradeço de forma particular ao Professor Joaquim Mamede Alonso por ter aceite este desafio de me acompanhar e orientar no desenvolvimento do presente trabalho, transmitindo todo o seu conhecimento e encorajamento ao longo destes meses.

Ao longo de todo este processo necessário à elaboração do presente trabalho, foram surgindo algumas dificuldades, angústias e dúvidas que por momentos afiguravam-se inultrapassáveis. Porém, sabia que podia contar com o auxílio, apoio e orientação de muitas pessoas das quais um agradecimento especial para a Andreia Saavedra Cardoso pela ajuda e disponibilidade.

À minha namorada, Joana Silva, pelo seu apoio incansável e pela paciência que sempre demonstrou.

Aos meus colegas de gabinete CIGESA, Diogo Gonçalves, Helder Amorim, Miguel Ribeiro, Nuno Mouta, Cristiano Barros, Rita Nascimento, Cristiana Costa e Silvana Pais pelo apoio, ajuda e paciência.

Aos meus amigos que fazem questão de me acompanhar nesta longa caminhada da vida.

A toda a família e acima de tudo àqueles que são desde sempre os meus pilares, os que tornaram tudo isto possível desde o primeiro momento. Pelo conforto nas decisões, pelo encorajamento, pela força, pela educação.

Ao meu filho, Duarte Cardoso da Silva, pela compreensão e paciência durante as longas horas em que estive dedicado a este trabalho, em vez de estar ao teu lado. Sabes que cada momento longe de ti teve um propósito maior.

Por fim, uma homenagem ao meu irmão, Tiago Silva, cuja ausência física não apagou a sua presença no meu coração. Ele continua a ser minha inspiração e força motriz.

Obrigado a todos!

1. INTRODUÇÃO

A vitivinicultura é uma das atividades agrícolas mais sensíveis às condições climáticas, sendo o clima um dos principais determinantes da tipicidade, produtividade e qualidade dos vinhos produzidos em cada região (Bonfante et al., 2018; Fraga, 2014; Fraga et al., 2018; Fraga & Santos, 2018; Gladstones, 2011; Hall & Jones, 2008; Jones, 2013, 2007; Jones & Alves, 2012). Variáveis como a temperatura, precipitação, radiação solar e humidade relativa influenciam diretamente o ciclo fenológico da vinha, o equilíbrio fisiológico das plantas, a concentração de açúcares e compostos fenólicos nas uvas e, consequentemente, o perfil sensorial dos vinhos (Bonnefoy et al., 2013; Gladstones, 2011; Irimia, Patriche, Petitjean, Tissot, Santesteban, Neethling, Foss, Le Roux, Quérol, et al., 2024; Neethling et al., 2019).

No atual contexto de alterações climáticas, verifica-se um aumento sustentado da temperatura média global, acompanhado por alterações nos regimes de precipitação e uma maior frequência de fenómenos extremos, como ondas de calor, secas prolongadas ou precipitações intensas em momentos críticos do ciclo vegetativo (IPCC, 2021; Pinto et al., 2022; Santos et al., 2023). Estas mudanças representam um desafio significativo para a sustentabilidade da produção vitivinícola, particularmente em regiões tradicionais, onde os sistemas produtivos se encontram adaptados a equilíbrios climáticos delicados. A antecipação da maturação, o risco de sobrematuração, a perda de acidez ou o aumento da pressão fitossanitária são apenas alguns dos impactos já documentados em diversas regiões vitivinícolas da Europa (Blanco-Ward et al., 2007; Costa et al., 2016; Fraga et al., 2015; Malheiro et al., 2010).

A Região Demarcada dos Vinhos Verdes (RDVV), situada no noroeste de Portugal, constitui um exemplo paradigmático desta vulnerabilidade climática. Caracterizada por elevada pluviosidade, verões amenos e notável diversidade agroclimática, a RDVV apresenta um mosaico complexo de sub-regiões vitivinícolas, castas autóctones e práticas culturais profundamente enraizadas (Fraga, Malheiro, Moutinho-Pereira, & Santos, 2014; Malheiro et al., 2010). A diversidade climática da região é modulada por fatores como a proximidade ao oceano Atlântico, a topografia acentuada e a heterogeneidade dos solos, favorecendo a expressão de múltiplos terroirs e estilos de vinho. Contudo, esta diversidade pode constituir um fator de risco no contexto das alterações climáticas, caso não se desenvolvam ferramentas que permitam compreender, monitorizar e antecipar as mudanças projetadas (Alsafadi et al., 2020a; Fraga, Malheiro, Moutinho-Pereira, Jones, et al., 2014a; Piña-Rey et al., 2020a; J. Santos & Fraga, 2017). Neste enquadramento, a utilização de índices bioclimáticos (IB) emerge como

uma abordagem consolidada para a avaliação da aptidão vitivinícola e dos impactos previstos das alterações climáticas. Estes índices sintetizam variáveis climáticas fundamentais – tais como a temperatura média, precipitação, radiação solar ou evapotranspiração – permitindo avaliar, de forma integrada, o potencial agroclimático de uma região para a produção de uvas de qualidade (De Teixeira et al., 2014; Fraga, 2014; Fraga, Malheiro, Moutinho-Pereira, Jones, et al., 2014b; Fraga & Santos, 2018; Irimia, Patriche, Petitjean, Tissot, Santesteban, Neethling, Foss, Le Roux, Quérol, et al., 2024; Morales-Castilla et al., 2020; Tonietto & Carbonneau, 2004; Van Leeuwen, 2010; Van Leeuwen & Seguin, 2006). Adicionalmente, a análise multivariada destes índices possibilita a identificação de zonas bioclimáticas homogêneas, facilitando a delimitação de unidades territoriais com comportamento climático semelhante (Fraga et al., 2018, 2024; Moral et al., 2016).

Com base nestes pressupostos, o presente trabalho propõe-se a desenvolver uma abordagem integrada de caracterização, classificação e projeção da aptidão bioclimática da Região dos Vinhos Verdes, com os seguintes objetivos principais:

- i. Caracterizar bioclimaticamente a Região Demarcada dos Vinhos Verdes e as suas sub-regiões, com base em variáveis climáticas e índices agroclimáticos relevantes para a vitivinicultura, avaliando a distribuição espacial e a evolução entre o período de referência (1960–1990) e os cenários climáticos futuros RCP 4.5 e RCP 8.5 (2041–2070 e 2071–2100);
- ii. Definir e espacializar Unidades Bioclimáticas Homogêneas (UBH), recorrendo a técnicas de análise multivariada, integrando os índices climáticos em componentes principais e aplicando algoritmos de classificação (não supervisionada e supervisionada) que permitam distinguir zonas com perfis bioclimáticos distintos;
- iii. Avaliar a evolução espacial e estrutural das UBH ao longo dos cenários climáticos futuros, com especial enfoque na identificação de áreas com maior intensidade de transformação bioclimática, através de um indicador hierárquico de alteração desenvolvido especificamente para este fim;
- iv. Desenvolver um sistema de diagnóstico agroclimático para a vinha, com base em indicadores selecionados pela sua relevância fenológica e agronómica, classificados segundo uma escala adaptativa com interpretação direta para apoio à gestão vitivinícola;

- v. Analisar de forma integrada os resultados obtidos, comparando a informação proveniente da classificação das UBH com a evolução dos índices individuais, avaliando a coerência, limitações e implicações práticas dos diferentes métodos para o planeamento vitivinícola regional.

A concretização destes objetivos implicou a adoção de uma metodologia robusta e replicável, composta por múltiplas etapas: (i) recolha e harmonização de dados climáticos históricos e projetados; (ii) cálculo de índices bioclimáticos representativos dos domínios térmico, heliotérmico e hidrotérmico; (iii) extração de pontos de referência em áreas de vinha identificadas na COS2018; (iv) interseção espacial com os índices climáticos para caracterização quantitativa das sub-regiões; (v) aplicação de análise de componentes principais (PCA) para redução de dimensionalidade; (vi) classificação das UBH com base nos scores da PCA, através de métodos ISO Cluster e Máxima Verosimilhança; (vii) hierarquização das UBH segundo níveis taxonómicos de proximidade bioclimática; (viii) desenvolvimento do indicador de intensidade de alteração com base na divergência hierárquica entre cenários; e (ix) estruturação de um sistema de codificação agroclimática com interpretação agronómica.

Através desta abordagem, pretende-se oferecer uma visão integrada, cientificamente fundamentada e operacionalmente útil para os atores do setor vitivinícola da Região dos Vinhos Verdes. A metodologia proposta permite não só descrever o estado atual da aptidão bioclimática da região, mas também antecipar dinâmicas futuras, identificar zonas de risco ou de oportunidade e apoiar decisões estratégicas de adaptação, reconversão ou realocação de vinhas face aos desafios impostos pelas alterações climáticas.

2. A VINHA, O TERROIR E AS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS

2.1. Origem botânica e distribuição geográfica

A vinha, pertencente à família *Vitaceae*, integra uma notável diversidade de espécies, agrupadas em cerca de 19 géneros. Entre estes, sobressai o género *Vitis*, que reúne as espécies de maior importância agrícola e económica a nível mundial (Fuentes-Espinosa et al., 2025; O. Wang et al., 2025; X. Wang et al., 2018). O género *Vitis* subdivide-se em dois subgéneros principais: *Euvitis* e *Muscadinia*, sendo a espécie *Vitis vinifera* L. responsável pela quase totalidade da produção vitivinícola europeia integrada no subgénero *Euvitis* (Birks, 2012; Ollat et al., 2002).

As espécies do género *Vitis* apresentam uma distribuição geográfica marcadamente ampla, ocorrendo tanto em zonas temperadas do Hemisfério Norte (América do Norte, Europa, Ásia) como em regiões tropicais e subtropicais da América do Sul, África austral e tropical, Oceânia e Ásia meridional (Manuel & Lopes, 2005; Ollat et al., 2002). Apesar de atualmente a ocorrência do género se restringir a nichos ecologicamente muito específicos, evidências paleoecológicas indicam que a sua distribuição foi, em períodos passados, significativamente mais extensa no Hemisfério Norte (Manuel & Lopes, 2005; Ollat et al., 2002; O. Wang et al., 2025; X. Wang et al., 2018). No contexto europeu, *Vitis vinifera* L. destaca-se não só como a única espécie nativa amplamente cultivada, mas também como o principal suporte da diversidade ampelográfica regional, com centenas de castas locais adaptadas a diferentes condições edafoclimáticas e com utilizações que vão desde a vinificação até à produção de uva

de mesa e passas (Manuel & Lopes, 2005; Ollat et al., 2002; O. Wang et al., 2025; X. Wang et al., 2018)

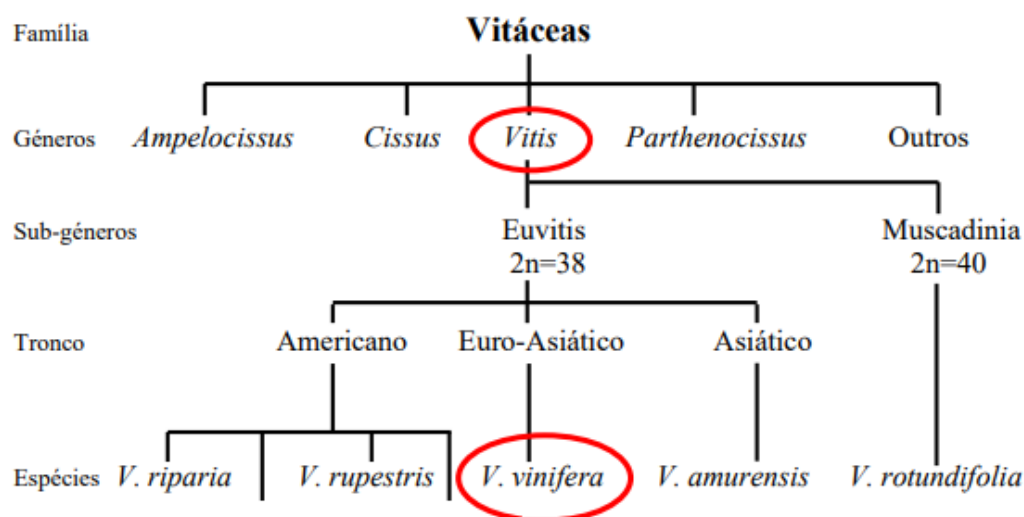


Figura 2.1: Família das Vitáceas Fonte: (Reynier, 2004).

2.2. Ciclo fenológico da vinha e dependência climática

O ciclo fenológico da vinha depende fortemente das condições climáticas, sobretudo da temperatura, radiação solar e disponibilidade hídrica, fatores que regulam a fisiologia da planta e a qualidade do produto final (Fonseca et al., 2023; Fraga, 2014; Fraga et al., 2012b; Fraga, Malheiro, Moutinho-Pereira, & Santos, 2014; Fraga & Santos, 2018). Este ciclo desenrola-se ao longo do ano em várias etapas, cada um sensível a parâmetros ambientais muito específicos.

A fase de dormência verifica-se entre novembro e abril, sendo desencadeada pela redução drástica das temperaturas e pelo risco de geadas que induzem a queda das folhas e interrompem a atividade metabólica da vinha. Sucede-se o período de choro, no final do inverno, que se manifesta pela exsudação de seiva nos cortes da poda — sinalizando o reinício dos processos fisiológicos ativos. O abrolhamento, habitualmente entre abril e maio, ocorre quando as temperaturas médias ascendem para valores próximos de 12°C, levando ao inchaço das gemas e ao aparecimento dos primeiros rebentos (Alikadic et al., 2019; Bonfante et al., 2025; Miccichè et al., 2025).

Durante a primavera, inicia-se o crescimento vegetativo, caracterizado por intensa atividade fotossintética, seguido da floração e frutificação, etapas cruciais para a definição do potencial

produtivo, culminando na fecundação dos ovários. O pintor, normalmente em meados do verão, marca o início da fase de maturação: os bagos mudam de cor e acumulam açúcares, enquanto a acidez diminui progressivamente. Esta fase é particularmente sensível à temperatura e à humidade relativa, fatores determinantes para uma maturação equilibrada. A maturação completa estende-se por mais 35 a 55 dias após o pintor, período durante o qual se atinge o equilíbrio ótimo entre açúcares e ácidos, essencial para a expressão da qualidade e tipicidade do vinho (Bonfante et al., 2025; Fonseca et al., 2023; Fraga & Santos, 2018; Micciché et al., 2025; J. Santos & Fraga, 2017) (Figura 2.2).

As alterações climáticas têm modificado de forma acentuada o ritmo e a duração destas fases fenológicas. O aumento consistente da temperatura média, a antecipação do ciclo primaveril e a maior frequência de ondas de calor e eventos extremos resultam frequentemente em abrolhamentos e maturações mais precoces, encurtamento do período de maturação, redução de acidez total e, por vezes, sobrematuração dos bagos — impactando diretamente a qualidade final do vinho e a expressão das castas regionais (Fraga, 2014; Fraga & Santos, 2018; J. Santos & Fraga, 2017; Van Leeuwen, 2010; van Leeuwen & Bois, 2018; Van Leeuwen & Seguin, 2006).

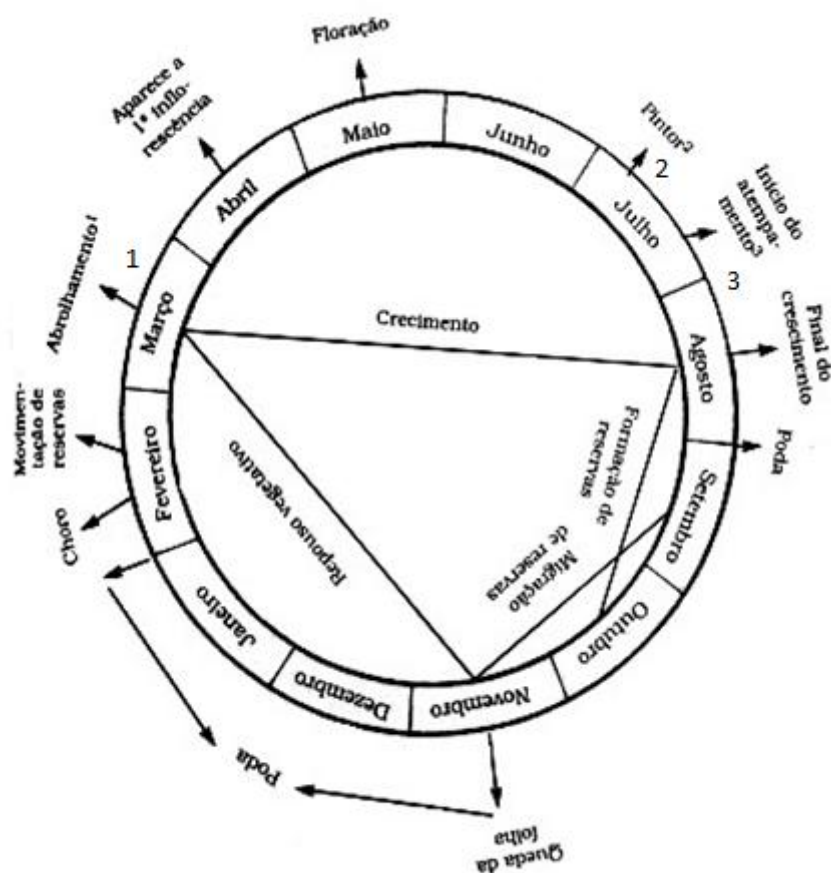


Figura 2.2. Ciclo vegetativo da Vinha. (Fonte: Reynier, 2004). Legenda: 1: Lançar gomos e rebentos; 2: Uvas começam a pintar; 3: Desenvolvimento das varas.

2.3. Sensibilidade da vinha às variações climáticas

A vinha é uma cultura particularmente sensível às variações térmicas e hídricas, uma vez que o seu ciclo fenológico, desenvolvimento vegetativo, qualidade da uva e perfil sensorial do vinho dependem fortemente do equilíbrio entre temperatura e disponibilidade de água ao longo da estação de crescimento (Fraga & Santos, 2018; van Leeuwen & Darriet, 2016).

Do ponto de vista térmico, a vinha apresenta limites fisiológicos bem definidos: temperaturas abaixo de 10 °C inibem o crescimento, enquanto valores acima de 35 °C causam stress térmico severo, prejudicando a fotossíntese, a acumulação de compostos fenólicos e o metabolismo da planta (Jones, Duchêne, et al., 2005; Micciché et al., 2025; Naulleau et al., 2022; Webb et al., 2007). Trabalhos experimentais demonstram que exposições a temperaturas elevadas durante o ciclo vegetativo aceleram os estádios fenológicos e podem comprometer a produção e a qualidade das uvas, sobretudo pela antecipação da vindima, redução da acidez e potencial

desequilíbrio entre açúcar e compostos fenólicos. A maturação ideal da uva requer uma acumulação térmica progressiva — normalmente expressa em graus-dia — que deve ocorrer sob condições amenas para preservar ácidos orgânicos e compostos aromáticos (Blanco-Ward et al., 2007, 2017, 2019; Hall & Jones, 2008; Jones, 2007).

A antecipação da síntese de fenóis e o acúmulo mais rápido de açúcares, resultante do aumento das temperaturas médias, pode conduzir à sobrematuração, desfasando a maturação tecnológica da fenólica, o que compromete o equilíbrio álcool/acidez e a tipicidade dos vinhos (Bucur & Dejeu, 2016; Lazoglou et al., 2018; Morales-Castilla et al., 2020; Moriondo et al., 2013; Shaw, 2017; Stock et al., 2005a, 2005b; Van Leeuwen, 2010; van Leeuwen & Darriet, 2016a; Vaudour et al., 2016; Wunderlich et al., 2023). Este fenómeno é especialmente notório em regiões tradicionalmente frescas, onde se tem observado um adiantamento de 10 a 30 dias nas datas de floração e vindima face ao período de referência (Blanco-Ward et al., 2017; Bonfante et al., 2025; Fraga et al., 2024; Gladstones, 2011; Jones, Duchêne, et al., 2005; Jones, White, et al., 2005; Malheiro et al., 2010; Meier et al., 2018; Micciché et al., 2025; Naulleau et al., 2022).

No plano hídrico, embora a vinha seja considerada moderadamente tolerante ao défice de água — podendo este até ser benéfico em determinadas fases para melhorar a qualidade da uva — a combinação entre temperaturas elevadas e défice hídrico intenso comporta riscos acrescidos, como escaldão dos bagos, paragem do amadurecimento, senescência foliar precoce e redução do potencial produtivo (Fraga et al., 2018; Micciché et al., 2025; Naulleau et al., 2022). A frequência crescente de verões secos, com elevada evapotranspiração potencial e menor precipitação disponível durante a estação de crescimento, intensifica a vulnerabilidade da vinha em regiões de clima mediterrânico. O défice hídrico prolongado compromete o desenvolvimento radicular e os processos de maturação, sendo particularmente grave em solos com baixa capacidade de retenção de água (Blanco-Ward et al., 2017; Bonfante et al., 2025; Fraga et al., 2024; Gladstones, 2011; Jones, Duchêne, et al., 2005; Jones, White, et al., 2005; Malheiro et al., 2010; Meier et al., 2018; Micciché et al., 2025; Naulleau et al., 2022).

Para responder a estes desafios, o recurso a índices bioclimáticos — como os de Huglin, Winkler, Branas e Selianinov — tornou-se fundamental. Estes índices integram variáveis térmicas e hídricas para avaliar a aptidão climática de cada região à produção vitivinícola, antecipar zonas de risco e apoiar estratégias de adaptação face aos cenários futuros (Blanco-Ward et al., n.d., 2007, 2019; De Teixeira et al., 2014; Tonietto & Carbonneau, 2004).

O uso sistemático destes índices permite redefinir a aptidão varietal dos territórios vitivinícolas e orientar decisões estratégicas de adaptação, salvaguardando a qualidade e a sustentabilidade da produção em contexto de alterações climáticas.

2.4. O conceito de *Terroir*. Fatores incluídos e interações

O termo *terroir* tem origem francesa e foi historicamente associado à tipicidade e qualidade dos vinhos, refletindo as interações complexas entre fatores naturais e humanos numa dada região vitivinícola (Van Leeuwen & Seguin, 2006; Gladstones, 2011). Embora a noção tenha raízes empíricas, a investigação científica tem vindo a expandir e refinar o conceito, passando de uma perspetiva essencialmente empírica para uma abordagem multidimensional e interdisciplinar (Bonfante et al., 2011; Costantini & Bucelli, 2014; Fraga et al., 2018; Lázaro-López et al., 2016a, 2016b; Van Leeuwen, 2010; Vaudour et al., 2016).

A Organização Internacional da Vinha e do Vinho (OIV, 2010) define *terroir* como “uma área geográfica delimitada em que um conjunto de fatores naturais e humanos interagem, conferindo características distintivas aos produtos vitivinícolas originários dessa área”. Esta definição sublinha que o *terroir* não se limita ao ambiente biofísico, mas integra igualmente aspetos culturais, históricos e socioeconómicos, que moldam a produção e a identidade dos vinhos (Van Leeuwen, 2010; Van Leeuwen & Seguin, 2006).

Na última década, as abordagens científicas ao *terroir* incorporaram novas ferramentas de monitorização climática, modelação espacial e análise de dados, permitindo quantificar de forma mais rigorosa a influência dos fatores ambientais, em particular os climáticos, na fisiologia da videira e na composição da uva (Tscholl et al., 2024; Tonietto & Carbonneau, 2004).

2.4.1. Fatores naturais: clima como elemento central

Embora o *terroir* seja influenciado por múltiplos fatores, o clima desempenha um papel central na vitivinicultura, condicionando diretamente o crescimento vegetativo, o ciclo fenológico e a maturação da uva (Van Leeuwen, 2010). Elementos como a temperatura, a radiação solar e a precipitação determinam a disponibilidade hídrica, a acumulação de açúcares, a degradação dos ácidos e a síntese de compostos fenólicos e aromáticos (Bonnefoy et al., 2013; Funes Mesa et al., 2024; Neethling et al., 2019).

A adequação climática para a produção de vinho é frequentemente avaliada através de índices bioclimáticos, como o Índice de Huglin, o Índice de Seca (IS) ou o Índice de Winkler, que sintetizam variáveis meteorológicas críticas e permitem comparar regiões ou projetar cenários futuros (Tonietto & Carbonneau, 2004; Fraga et al., 2014). Em regiões tradicionais, a combinação entre clima e material vegetal evoluiu ao longo de séculos, ajustando-se a limites térmicos e hídricos específicos para cada casta (Alikadic et al., 2019; Bonfante et al., 2025; Micciché et al., 2025).

Face às alterações climáticas, a dimensão bioclimática do terroir tem adquirido ainda maior relevância, dado o avanço das datas de maturação, a alteração dos perfis aromáticos e o aumento da frequência de eventos extremos, que obrigam a reconsiderar zonas de aptidão e práticas vitivinícolas (Tscholl et al., 2024; Webb et al., 2012).

2.4.2. O papel do fator humano na expressão do Terroir

Para além dos condicionantes naturais, a expressão do terroir é fortemente influenciada pelo fator humano, que intervém na escolha das castas, porta-enxertos e sistemas de condução, bem como nas práticas culturais e tecnológicas (Gladstones, 2011; Van Leeuwen, 2010; Zheng, 2025). O conhecimento acumulado e transmitido entre gerações molda as estratégias de adaptação local às variações climáticas e assegura a continuidade da identidade vitivinícola (Gladstones, 2011; Van Leeuwen, 2010; Zheng, 2025).

No contexto moderno, os produtores combinam saber tradicional com tecnologias de precisão, como a monitorização meteorológica e a gestão hídrica assistida por sensores, para otimizar a produção e mitigar riscos climáticos (Funes Mesa et al., 2024). Estas decisões humanas não apenas respondem às condições do terroir, mas também redefinem a sua expressão ao longo do tempo.

2.4.3. O Terroir e a zonagem vitivinícola

A zonagem vitivinícola consiste na identificação e delimitação de áreas homogêneas quanto aos fatores determinantes da qualidade e tipicidade vitivinícola (Herrera et al., 2011). No âmbito do terroir, esta abordagem permite caracterizar e mapear as condições ambientais, oferecendo suporte à gestão da vinha e ao planeamento de novas instalações.

O conceito de Unidade de Terroir de Base (UTB) que descreve áreas homogêneas quanto ao clima e outros fatores biofísicos é frequentemente utilizado como base para análises espaciais

detalhadas (Tonietto & Carbonneau, 2004). Na vertente bioclimática, a integração de séries meteorológicas, índices climáticos e modelação geoespacial permite gerar cartografia de aptidão vitivinícola com elevada resolução (Tonietto & Carbonneau, 2004; Tscholl et al., 2024).

Com o aumento da disponibilidade de dados climáticos de alta resolução e projeções de cenários futuros, a zonagem vitivinícola tornou-se uma ferramenta estratégica para compreender e antecipar alterações na geografia dos vinhos, ajustando práticas e salvaguardando a tipicidade das regiões vitivinícolas (De Cortázar-Atauri et al., 2017; van Leeuwen & Darriet, 2016a; Vaudour et al., 2016).

2.5. Alterações climáticas e a vitivinicultura

As alterações climáticas representam um dos maiores desafios ambientais, sociais e económicos do século XXI. De acordo com o Sexto Relatório de Avaliação (AR6) do IPCC (IPCC, 2021), o aquecimento do sistema climático é inequívoco, sendo as concentrações atmosféricas de dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O) as mais elevadas dos últimos 2 milhões de anos. Desde o período pré-industrial (1850–1900), a temperatura média global à superfície aumentou cerca de 1,1 °C, valor que, caso não ocorram reduções substanciais nas emissões de gases com efeito de estufa (GEE), poderá atingir 1,5 °C entre 2030 e 2050 e 2,0–4,4 °C até ao final do século XXI, dependendo do cenário de emissões (SSP1-1.9 a SSP5-8.5).

Embora o aquecimento seja um fenómeno global, os seus impactos manifestam-se de forma heterogénea no espaço e no tempo. A Europa mediterrânica e sudoeste da Península Ibérica estão identificadas como “hotspots climáticos” devido à elevada sensibilidade a aumentos térmicos e à redução das precipitações médias anuais (Fraga, Malheiro, Moutinho-Pereira, Cardoso, et al., 2014). Projeções indicam que, mesmo sob cenários moderados como o SSP2-4.5, a região poderá sofrer aumentos de temperatura média anual entre +1,5 °C e +3,0 °C até meados do século e reduções de precipitação de 10–20% na estação de crescimento (Cramer et al., 2018; Fraga et al., 2021).

Estas alterações traduzem-se principalmente em:

- i. Adiantamento fenológico: várias fases do ciclo vegetativo (abrolhamento, floração, pintor e vindima) ocorrem mais cedo, reduzindo a duração do ciclo e aumentando o

risco de desequilíbrios fisiológicos (Fonseca et al., 2023; Fraga, 2014; Malheiro et al., 2010; van Leeuwen & Darriet, 2016b);

- ii. Alterações na composição da uva: temperaturas mais elevadas aceleram a acumulação de açúcares e reduzem a acidez, em particular o ácido málico, alterando o pH e a expressão aromática (Bonada et al., 2015; Bonnefoy et al., 2013; Neethling et al., 2019);
- iii. Mudanças na aptidão climática regional: áreas tradicionalmente marginais para a vitivinicultura podem tornar-se adequadas, enquanto regiões atualmente de elevada qualidade podem exceder as condições ótimas para certas castas (Fraga, 2014; Tscholl et al., 2024; Tscholl & Egarter Vigl, 2024).

Vários trabalhos indicam que, em regiões como o Noroeste de Portugal, o Índice Heliotérmico de Huglin e o Índice de Winkler tendem a aumentar significativamente até 2100, refletindo um incremento do potencial térmico, mas também o risco de sobrematuração (Cardoso et al., 2019; Fonseca et al., 2023; Fraga et al., 2012b, 2017). Adicionalmente, o aquecimento intensifica fenómenos de stress térmico e hídrico, especialmente durante o período crítico de maturação. A diminuição da precipitação efetiva, combinada com maior evapotranspiração potencial, conduz a défices hídricos mais pronunciados, com implicações na fisiologia da vinha, no rendimento e na qualidade da produção (Andrade et al., 2021, 2022; Fonseca et al., 2023; Fraga et al., 2018; Fraga & Santos, 2018; J. Santos & Fraga, 2017). Assim, a compreensão detalhada dos impactos das alterações climáticas na vitivinicultura exige o uso de métricas quantitativas como índices bioclimáticos, que sintetizam variáveis-chave (temperatura, precipitação, radiação solar) e permitem avaliar a aptidão climática atual e futura das regiões vitivinícolas. Estes índices, integrados em análises espaciais e modelação de cenários, constituem ferramentas essenciais para a definição de estratégias de adaptação e para a preservação da tipicidade regional dos vinhos (Alikadic et al., 2019; Baltazar et al., 2025a; Battaglini et al., 2009; Bonfante et al., 2025; European Conservation Agriculture Federation, 2014; Fraga, 2014; Gannon et al., 2023; Micciché et al., 2025; Naulleau et al., 2021; Resco et al., 2016).

Não se registaram alterações significativas nos totais anuais de precipitação em muitas regiões vitivinícolas, mas a disponibilidade efetiva de água para a videira foi condicionada por uma maior variabilidade sazonal e pelo aumento das taxas de evapotranspiração. Estas mudanças, associadas ao incremento das temperaturas médias durante a estação de crescimento,

resultaram num aumento generalizado das classificações dos índices bioclimáticos, em particular nos índices térmicos como o Huglin e o Winkler (Figura 2.3).

As alterações nos padrões térmicos tornaram as condições das regiões vitivinícolas mais setentrionais progressivamente mais favoráveis, enquanto algumas regiões tradicionalmente quentes, como o sul da Europa, atingiram ou ultrapassaram os limiares térmicos ideais para as castas atualmente cultivadas ((Baltazar et al., 2025a; Battaglini et al., 2009; Bonfante et al., 2025; Comte et al., 2023; European Conservation Agriculture Federation, 2014; Fraga, 2014; Gannon et al., 2023; Molitor et al., 2019; Resco et al., 2016). Modelações fenológicas realizadas por van Leeuwen & Darriet (2016) indicam que, sob cenários de aquecimento, a data média de floração poderá ser adiantada até 15 dias entre 2020 e 2050, e até 30 dias no final do século (2070–2100), enquanto a maturação poderá ocorrer 25 a 45 dias mais cedo. Este avanço fenológico, evidenciando as diferenças regionais no comportamento da variedade Merlot em várias zonas vitivinícolas francesas. De forma consistente, observa-se que o aquecimento induz não só a antecipação da colheita, mas também a potencial redução da duração do ciclo reprodutivo, com implicações diretas na acumulação de açúcares, acidez e perfil aromático das uvas (Figura 2.4).

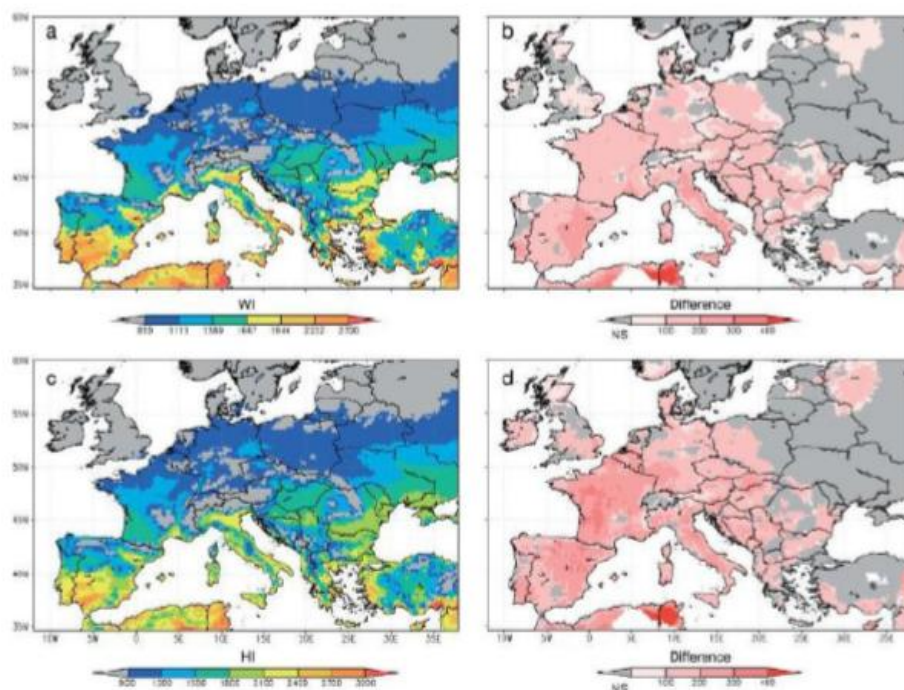


Figura 2.3. Índices Winkler e Huglin na Europa para o período de 1950 a 2009 (à esquerda) e a diferença entre os períodos 1980-2009 e 1950-1979 (à direita) (Fonte: (Fraga et al., 2012).

Devido ao amadurecimento precoce, sob condições mais quentes, poderão ocorrer mudanças significativas na composição da uva (Figura 2.5(a)). As uvas contêm mais açúcar e menos ácidos orgânicos, o que resulta num valor maior de pH. Alterações na composição da uva também levaram ao aumento dos níveis de álcool e à alteração dos perfis sensoriais do vinho (Figura 2.5 (b)) (Fraga, 2014; Fraga et al., 2012).

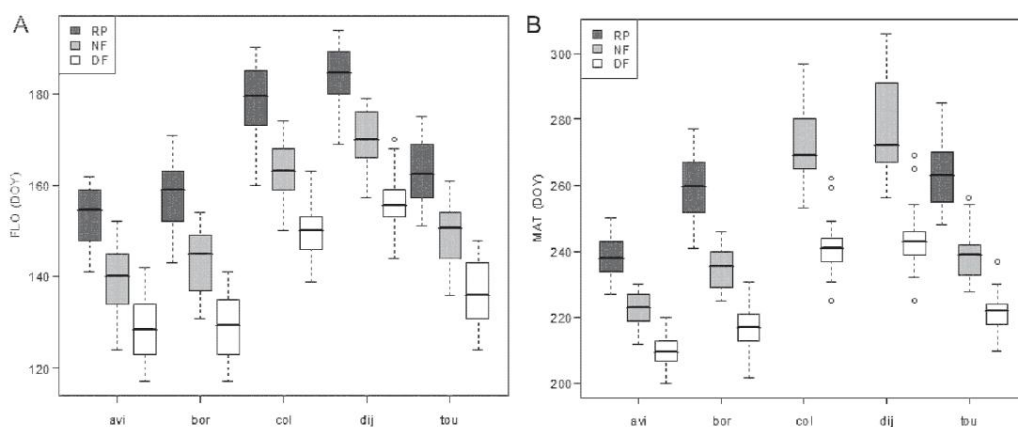


Figura 2.4. Floração média modelada (A) e datas de colheita (B) para Merlot em Avignon (avi), Bordeaux (bor), Colmar (col), Dijon (dij) e Toulouse (tou). RP = passado recente (1971–2000), NF = Futuro próximo (2020–2050) e DF = Futuro distante (2070–2100). Adaptado de Van Leeuwen e Darriet (2016).

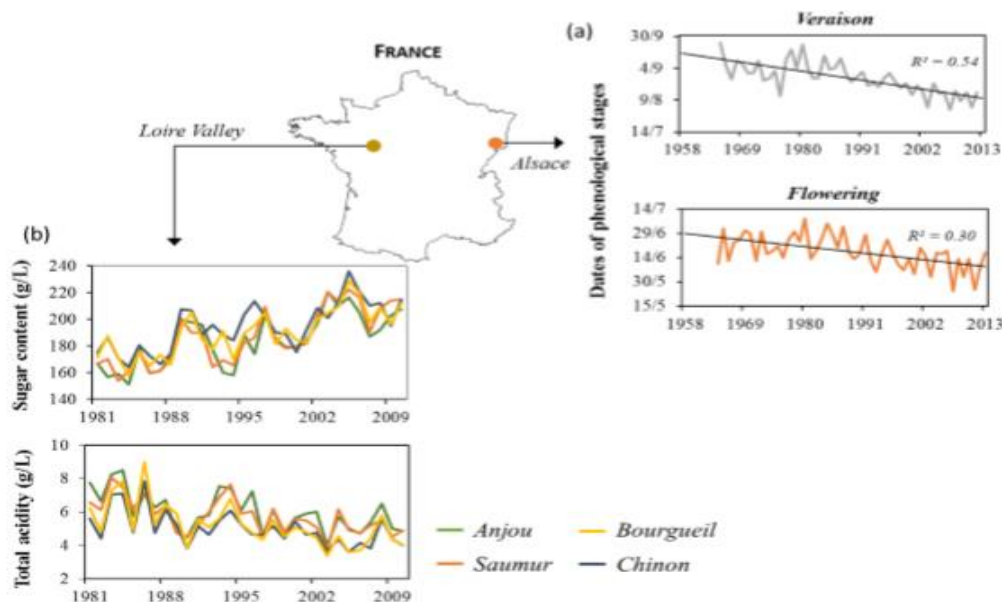


Figura 2.5. (a) A tendência na data de floração e de maturação da variedade de vinha *Riesling* cultivada na região vinícola da Alsácia, França (b) A variância do teor de açúcar e acidez total

para a casta *Cabernet*, cultivada no Vale do Loire e, mais especificamente, nas zonas vitivinícolas de *Anjou*, *Saumur*, *Bourgueil* e *Chinon* (Fonte:(Neethling et al., 2016).

2.6. Índices bioclimáticos aplicados à vitivinicultura

Os índices bioclimáticos (IB) constituem ferramentas fundamentais na caracterização climática de regiões vitivinícolas, permitindo traduzir em valores quantitativos a interação entre variáveis meteorológicas e as exigências ecofisiológicas da videira (Tonietto & Carbonneau, 2004; Gladstones, 2011). Ao integrar parâmetros como temperatura, radiação solar, precipitação e evapotranspiração, estes índices permitem avaliar a aptidão climática para a produção de vinho, identificar riscos de stress térmico ou hídrico e projetar alterações na aptidão vitivinícola sob diferentes cenários climáticos (Allaman et al., 2017; Alsafadi et al., 2020b; Andrade et al., 2021, 2022; Castro, 2013; Fraga, Malheiro, Moutinho-Pereira, Jones, et al., 2014c; Honório et al., 2018; Kopali et al., 2021; Miguel et al., 2015; Piña-Rey et al., 2020b).

De forma geral, os IB aplicados à vitivinicultura dividem-se em dois grandes grupos:

- i. Índices térmicos e heliotérmicos — como o Índice de Winkler, o Índice Heliotérmico de Huglin, o Índice de Frescor das Noites e o Índice Heliotérmico de Branas. Estes sintetizam a acumulação de calor ao longo do ciclo vegetativo, relacionando-se diretamente com o desenvolvimento fenológico e o potencial de maturação. Em regiões com verões mais quentes, valores elevados destes índices podem indicar risco de sobrematuração e perda de acidez, enquanto em zonas mais frescas podem evidenciar limitações à maturação completa (Allaman et al., 2017; Andrade et al., 2022; Castro, 2013; Fraga, Malheiro, Moutinho-Pereira, Jones, et al., 2014a; Honório et al., 2018; Pinto et al., 2013);
- ii. Índices hídricos — como o Índice Hidrotérmico de Branas, Bernon e Lavadoux, a Evapotranspiração Potencial (ET_o) e a precipitação acumulada em fases críticas (ex. agosto-setembro). Estes refletem o equilíbrio entre a disponibilidade e a procura hídrica da cultura, sendo essenciais para avaliar o risco de défice hídrico ou, inversamente, de excesso de humidade que possa comprometer a sanidade e a qualidade das uvas (Andrade et al., 2021; Fonseca et al., 2023; Fraga & Santos, 2018; Santos & Fraga, 2017).

A interpretação integrada de vários IB, em vez da utilização isolada de um único índice, é recomendada para caracterizar com rigor a aptidão vitivinícola de uma região (Fraga et al.,

2014; Neethling et al., 2019). Essa abordagem multidimensional fornece uma visão mais completa das limitações e potencialidades climáticas, permitindo fundamentar decisões estratégicas como a seleção de castas, a adaptação das práticas culturais ou a realocação de vinhas em resposta às alterações climáticas (Alikadic et al., 2019; Bonfante et al., 2025; Fraga et al., 2024; Micciché et al., 2025; van Leeuwen & Darriet, 2016c; Vaudour et al., 2016).

Apesar da sua utilidade comprovada, os IB apresentam limitações relevantes:

- i. Foco parcial nas médias — A maioria é calculada com base em médias mensais, não captando a frequência e intensidade de eventos extremos (ex. ondas de calor, chuvas torrenciais) que têm impacto desproporcionado na produção e qualidade (Irimia et al., 2014; Neethling et al., 2019);
- ii. Ausência de integração de fatores edafotopográficos — Os IB não consideram diretamente variáveis como tipo de solo, capacidade de retenção hídrica ou exposição solar da parcela, que modulam fortemente a resposta da videira (Gladstones, 2011),
- iii. Limitações na escalabilidade temporal e espacial — A aplicação em áreas heterogêneas ou para curtos períodos pode levar a generalizações excessivas e perda de informação local (Marques et al., 2024);
- iv. Calibração varietal insuficiente — Muitos IB foram desenvolvidos com base em condições e castas específicas, podendo não refletir adequadamente a realidade de outras regiões ou variedades (Marques et al., 2024).

Assim, embora não sejam ferramentas perfeitas, os IB continuam a ser instrumentos centrais para a análise climática da vitivinicultura, sobretudo quando integrados com dados fenológicos, modelos ecofisiológicos e análises espaciais de alta resolução, permitindo apoiar decisões estratégicas de adaptação num contexto de alterações climáticas.

2.7. Zonagem vitivinícola e definição de Unidades Bioclimáticas Homogêneas (UBH)

A zonagem vitivinícola é um processo de caracterização e delimitação espacial de áreas vitivinícolas com condições ambientais relativamente homogêneas, tendo como objetivo apoiar a gestão da vinha, a seleção varietal e o planeamento estratégico da produção. Historicamente, este conceito esteve associado à descrição empírica de regiões vitivinícolas, muitas vezes baseada em fronteiras administrativas ou na percepção de produtores locais (Gladstones, 2011; Van Leeuwen & Seguin, 2006). No entanto, a evolução da vitivinicultura de precisão e a crescente disponibilidade de dados climáticos e geoespaciais permitiram o desenvolvimento de

metodologias quantitativas capazes de identificar zonas homogêneas de forma objetiva, baseando-se em parâmetros agroclimáticos relevantes para a vinha (Tonietto & Carbonneau, 2004; Fraga et al., 2014). A zonagem tradicional focava-se frequentemente em fatores edáficos e topográficos, com o clima tratado de forma descritiva e pouco quantificada. Atualmente, a zonagem bioclimática assume-se como abordagem central, recorrendo a índices bioclimáticos (IB) que integram variáveis-chave como temperatura média, amplitude térmica, precipitação e evapotranspiração potencial. Estes índices, calculados com base em séries meteorológicas de longo prazo, são espacializados por meio de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e usados para mapear padrões de aptidão climática com elevada resolução (Anderson et al., 2012; Lorenzo et al., 2013, 2016a, 2016b; Micciché et al., 2025).

Este enfoque quantitativo apresenta várias vantagens:

- i. Permite identificar microzonas vitivinícolas com características distintas dentro de uma mesma denominação de origem;
- ii. Facilita a projeção de cenários futuros e a antecipação de deslocamentos climáticos;
- iii. Fornece suporte a decisões de reconversão ou introdução de novas castas em função da evolução prevista das condições climáticas (Fraga & Santos, 2018; Tscholl et al., 2024).

As UBH correspondem a áreas geográficas delimitadas que apresentam uniformidade em termos de variáveis climáticas críticas para a videira, como a acumulação térmica (graus-dia), o regime hídrico e a amplitude térmica noturna. A sua definição baseia-se, tipicamente, em análises multivariadas — como análise de clusters, componentes principais (PCA) ou técnicas de machine learning — aplicadas a conjuntos de índices bioclimáticos (Fraga et al., 2012a, 2017; Malheiro et al., 2010; J. A. Santos et al., 2012).

A metodologia mais comum para definir UBH inclui as seguintes etapas:

- i. Seleção de índices climáticos relevantes — geralmente combinando indicadores térmicos (ex. Huglin, Winkler) e hídricos (ex. ET_0 , precipitação acumulada em períodos críticos);
- ii. Cálculo e espacialização — Aplicação de fórmulas específicas a séries meteorológicas de alta resolução e posterior interpolação ou modelação espacial;
- iii. Análise estatística multivariada — agrupamento de áreas com padrões climáticos semelhantes, formando classes homogêneas;

- iv. Validação em campo — cruzamento com dados fenológicos e de qualidade da uva para confirmar a coerência bioclimática das unidades (Blanco-Ward et al., 2007, 2019; Irimia, Patriche, Petitjean, Tissot, Santesteban, Neethling, Foss, Le Roux, QuénoI, et al., 2024; QuénoI et al., 2017).

2.7.1. Aplicações práticas e relevância estratégica

A definição de UBH é uma ferramenta estratégica para a vitivinicultura moderna, pois permite:

- i. Apoiar a escolha de castas e porta-enxertos adequados às condições locais, minimizando riscos de sobrematuração, déficit hídrico ou baixa qualidade fenológica (Atak, 2024; Baltazar et al., 2025b);
- ii. Planear a expansão vitivinícola em novas áreas com aptidão climática projetada para as próximas décadas (Irimia, Patriche, Petitjean, Tissot, Santesteban, Neethling, Foss, Le Roux, & QuénoI, 2024);
- iii. Delimitar subzonas vitivinícolas dentro de regiões com Denominação de Origem Protegida (DOP) ou Indicação Geográfica Protegida (IGP), preservando a tipicidade e a identidade regional ((Atak, 2024; Micciché et al., 2025; Van Leeuwen, 2010);
- iv. Identificar áreas vulneráveis ao aquecimento global, permitindo a implementação antecipada de estratégias adaptativas, como a alteração de sistemas de condução, sombreamento ou ajuste de datas de vindima (Fraga & Santos, 2018).

Trabalhos recentes mostram que, em várias regiões europeias, as alterações climáticas estão a provocar uma migração das UBH para latitudes e altitudes mais elevadas, com impactos diretos na distribuição das castas tradicionais (Atak, 2024; Baltazar et al., 2025b; Bonfante et al., 2025; Fonseca et al., 2025; Micciché et al., 2025; Tscholl & Egarter Vigl, 2024). No caso da Península Ibérica, simulações indicam que, sob cenários de emissões elevadas (SSP5-8.5), áreas atualmente classificadas como UBH de clima temperado poderão evoluir para classes mais quentes e secas, exigindo reconversão varietal ou adaptação das práticas vitivinícolas (Fraga & Santos, 2018).

Num contexto de alterações climáticas aceleradas, a zonagem bioclimática e a definição de UBH não são apenas exercícios de cartografia, mas instrumentos fundamentais para a resiliência do setor vitivinícola. Ao combinar ciência climática, modelação espacial e conhecimento agronómico, é possível criar cenários robustos que sustentem políticas públicas e decisões privadas, contribuindo para a sustentabilidade e competitividade das regiões

vitivinícolas no médio e longo prazo (Atak, 2024; Baltazar et al., 2025b; Bonfante et al., 2025; Fonseca et al., 2025; Micciché et al., 2025; Tscholl & Egarter Vigl, 2024)

2.8. Possíveis impactes e estratégias de adaptação alternativas

Os efeitos das alterações climáticas na vitivinicultura já não constituem apenas projeções teóricas; evidências empíricas documentadas em múltiplas regiões vitivinícolas confirmam mudanças significativas nos padrões fenológicos, fisiológicos e produtivos da videira (Fraga et al., 2018; Fraga & Santos, 2018; Tscholl & Egarter Vigl, 2024). A compreensão destes impactos, assim como a definição de estratégias de adaptação, exige uma abordagem integrada que considere tanto as respostas ecofisiológicas da cultura como a capacidade adaptativa das regiões vitivinícolas (Neethling et al., 2016; Marques et al., 2024). De forma sintética, os principais impactes podem ser agrupados em cinco categorias inter-relacionadas:

- i. Fenologia – O aumento das temperaturas médias e a redução da amplitude térmica invernal estão a antecipar de forma consistente as fases críticas do ciclo vegetativo, como o abrolhamento, a floração, o pintor e a maturação (Fraga et al., 2016; Webb et al., 2012). Este avanço fenológico reduz a duração do ciclo reprodutivo e pode provocar desfasamento entre a maturação tecnológica e a fenológica, comprometendo a qualidade final do vinho (van Leeuwen & Bois, 2018; Blanco-Ward et al., 2023);
- ii. Fisiologia – Temperaturas elevadas (>35 °C) durante a estação de crescimento afetam a fotossíntese, aceleram a respiração e aumentam a transpiração, agravando o stress hídrico e conduzindo à senescência foliar precoce (Costa et al., 2023; Biasi et al., 2024). Estas condições reduzem a acumulação de reservas e a longevidade das plantas, afetando a sua produtividade a médio e longo prazo;
- iii. Rendimento – O défice hídrico prolongado, associado a uma evapotranspiração potencial crescente, pode provocar paragens na maturação, queda de bagos e menor peso médio dos cachos (Malheiro et al., 2010; Santos et al., 2022). Eventos climáticos extremos, como chuvas intensas ou granizo, aumentam a variabilidade interanual da produção e dificultam a previsibilidade económica;
- iv. Qualidade da uva – A sobrematuração acelerada resulta em teores alcoólicos mais elevados e acidez reduzida, sobretudo ácido málico, alterando o equilíbrio sensorial e a tipicidade dos vinhos ((Amerine & Winkler, 1944; Assessment & Kubach, n.d.; Mania et al., 2018; Mira de Orduña, 2010; Molitor et al., 2024). Adicionalmente, temperaturas

extremas podem degradar antocianinas e compostos aromáticos, reduzindo a complexidade organolética (Neethling et al., 2016);

- v. Sanidade – As mudanças climáticas influenciam a incidência e severidade de pragas e doenças, alterando os períodos de risco e favorecendo, por exemplo, ciclos adicionais de fungos (Fonseca et al., 2023; Fraga, 2014; Fraga et al., 2012b, 2017; Fraga, Malheiro, Moutinho-Pereira, & Santos, 2014; Malheiro et al., 2010)).

Face a este quadro, diversas estratégias de adaptação têm sido propostas, combinando medidas de curto, médio e longo prazo (Neethling et al., 2016; Fraga & Santos, 2018; Marques et al., 2024) (Quadro 2.1)(Figura 2.6):

Quadro 2.1. Medidas adaptativas e respectivos efeitos fenológicos e hídricos na vinha.

Medida adaptativa	Atraso fenológico (dias)	Mitigação de stress hídrico
Atraso da poda	3–5	—
Aumento da altura da copa	3–5	—
Redução da área foliar/carga de fruta	5–12	Fraco
Seleção clonal	3–8	—
Escolha de variedades tardias	10–25	Médio
Porta-enxertos tolerantes à seca	3–6	Médio
Cobertura vegetal no solo	—	Fraco
Mulching técnico	—	Fraco
Sistemas de condução adaptados	—	Médio
Rega deficitária controlada	—	Forte

Estas medidas visam mitigar riscos imediatos, como o défice hídrico ou o avanço fenológico excessivo, mas também preparar as regiões vitivinícolas para um futuro climático incerto. O seu sucesso depende, contudo, de uma correta caracterização bioclimática das áreas de produção — reforçando a importância das Unidades Bioclimáticas Homogêneas (UBH) e do uso integrado de índices bioclimáticos como ferramentas de suporte à decisão.

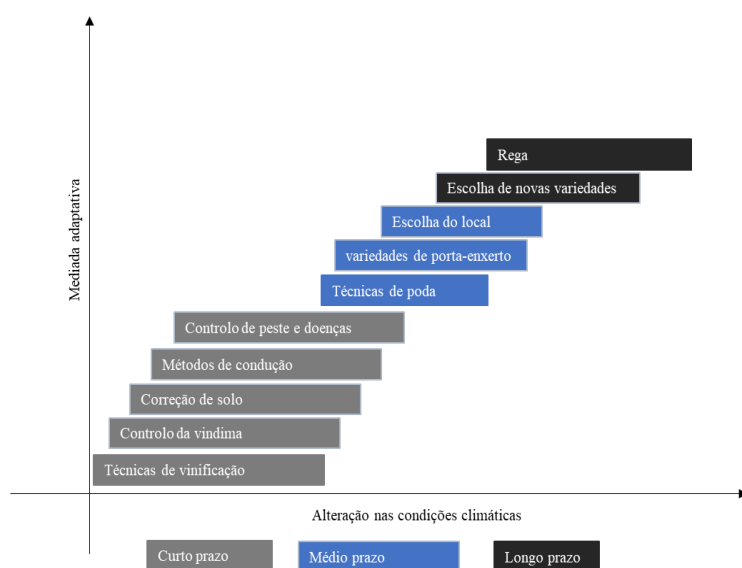


Figura 2.6. Definição de estratégias de adaptação às alterações climáticas: curto, médio e longo prazo. Adaptado de: (Neethling et al., 2016).

Tudo isto configura a necessidade de adotar uma série de estratégias de adaptação, que podem passar, entre outras coisas, por aumentar a capacidade de retenção de água no solo, diminuir o escoamento superficial da água das chuvas no inverno, gerir melhor o estado hídrico e sanitário das plantas e aumentar o volume de rega e a eficiência de uso da água, tendo em conta que a adequação no setor vitivinícola depende de fatores agrogeológicos, geomorfológicos, mas sobretudo de fatores climáticos (Coelho et al., 2013). O cálculo e análise da distribuição espacial de índices que correlacionem variáveis climáticas tornar-se-á uma ferramenta essencial no apoio à adaptação climática no setor vinícola.

3. METODOLOGIA

Este trabalho tem como área de estudo a Região dos Vinhos Verdes (Noroeste de Portugal) e desenvolve-se em torno de dois objetivos principais:

- i. A caracterização bioclimática da região e das suas sub-regiões, com base em variáveis e índices bioclimáticos relevantes para a vitivinicultura, avaliando a sua variação no contexto das alterações climáticas;
- ii. A definição e classificação de Unidades Bioclimáticas Homogéneas (UBH) e a análise da sua evolução ao longo de diferentes cenários climáticos futuros.
- iii. iii. Desenvolver um sistema de diagnóstico bioclimático orientado para o setor vitivinícola, com base em índices agroclimáticos de relevância comprovada, de modo a identificar riscos e oportunidades, apoiar a gestão adaptativa e fornecer uma ferramenta prática de suporte à decisão em contexto de alterações climáticas.

Para a concretização destes objetivos, foram desenvolvidas as seguintes etapas metodológicas:

I. Recolha e normalização dos dados climáticos

Compilação de variáveis climáticas (temperatura, precipitação, radiação) para o período de referência (1960–1990) e cenários futuros (RCP 4.5 e RCP 8.5 para 2041–2070 e 2071–2100).

II. Cálculo dos índices bioclimáticos

Determinação de 13 índices bioclimáticos relevantes para a vitivinicultura, agrupados em dois domínios:

- i. Térmicos/Heliotérmicos: Índice de Winkler (IW), Índice heliotérmico de Huglin (IH), Índice de frescura das Noites (IFN), Índice de Stress Térmico (HSI), Índice heliotérmico de Branas (BHI), Índice bioclimático de Hidalgo (IBC), Recorde de frio no Inverno (WFR);
- ii. Hídricos/Hidrotérmicos: Índice hidrotérmico de Selianinov, evapotranspiração Potencial pelo método de Hargreaves-Samani (ET0), precipitação acumulada no mês de colheita (PP0809), Índice hidrotérmico de Branas-Bernon-Lavadoux (BBLI).

III. Recolha de pontos de referência (ground-truth points)

Extração de áreas de vinha representativas para cada sub-região, com base na Carta de Uso e Ocupação do Solo de 2018 (COS2018).

IV. Caracterização e evolução bioclimática das sub-regiões da Região Demarcada dos Vinhos Verdes

Interseção entre os pontos de vinha (ground-truth) e os mapas de índices bioclimáticos para caracterização quantitativa das condições predominantes em cada sub-região.

V. Avaliação das alterações nos padrões bioclimáticos

Análise comparativa dos principais indicadores bioclimáticos entre o cenário presente e os cenários futuros, para cada sub-região, destacando tendências e implicações para a vitivinicultura regional.

VI. Análise de componentes principais (PCA)

Redução da dimensionalidade do conjunto de índices bioclimáticos normalizados. As componentes principais foram selecionadas com base em critérios estatísticos, e posteriormente utilizadas como variáveis de entrada na fase de classificação.

VII. Classificação das unidades bioclimáticas homogéneas

Aplicação de métodos de análise multivariada:

- Classificação não supervisionada (ISO Cluster) para detetar grupos naturais no espaço climático;
- Classificação supervisionada (Máxima Verosimilhança) para consolidar as zonas finais com base nas assinaturas estatísticas dos agrupamentos.

VIII. Análise da evolução das zonas bioclimáticas

Comparação das unidades bioclimáticas homogéneas ao longo dos diferentes cenários temporais e climáticos, avaliando mudanças na sua extensão, transições e persistência.

IX. Avaliação da intensidade de alteração das unidades bioclimáticas homogéneas

Para quantificar o grau de transformação bioclimática entre o presente e os cenários futuros, foi desenvolvido um indicador ordinal de intensidade de alteração das UBH, com base na comparação dos códigos hierárquicos atribuídos a cada pixel ao longo dos diferentes cenários. Cada UBH é representada por um código composto por seis níveis taxonómicos (ex: A.1.2.3.4.5), refletindo a sua posição relativa no espaço multivariado de condições bioclimáticas.

A intensidade de alteração foi definida pelo nível mais elevado da hierarquia em que se verifica divergência entre os códigos atribuídos ao mesmo local em dois cenários distintos. Assim, quanto mais à esquerda ocorre a divergência na estrutura hierárquica, maior é a transformação bioclimática projetada. O resultado é um valor entre 0 (sem alteração) e 6 (alteração estrutural completa), permitindo uma quantificação espacial da profundidade da mudança climática.

Este método permite não apenas identificar áreas com elevada instabilidade bioclimática, como também priorizar zonas para medidas de adaptação, baseadas no grau de transformação esperado.

X. Diagnóstico bioclimático do setor vitivinícola

De forma complementar à análise multivariada e à classificação das UBH, foi desenvolvido um sistema de diagnóstico bioclimático orientado para o setor vitivinícola, com base em índices agroclimáticos com relevância comprovada para o ciclo vegetativo da vinha. Este sistema visa interpretar, de forma simples e operacional, os principais impactes climáticos na produção vitivinícola da Região dos Vinhos Verdes.

Os índices foram organizados em grupos temáticos (potencial térmico, temperaturas críticas, balanço hídrico e indicadores compostos) e associados a intervalos com interpretação agronómica, codificados de forma sistemática. Cada valor foi classificado segundo uma escala ordinal com códigos padronizados (ex: B1a, C3d, F1e), permitindo:

- i. A interpretação direta dos resultados climáticos segundo critérios vitivinícolas;
- ii. A identificação de zonas de risco, como excesso de calor, défice hídrico ou maturação precoce;
- iii. A estruturação de um sistema de apoio à decisão, orientado para a adaptação e mitigação dos impactes projetados das alterações climáticas no setor.

Este modelo constitui uma ferramenta integrada de análise e apoio à decisão, que articula informação climática, agronómica e espacial, podendo ser facilmente adaptado a outras regiões vitivinícolas com necessidades semelhantes de avaliação e planeamento face à mudança climática (Figura 3.1).

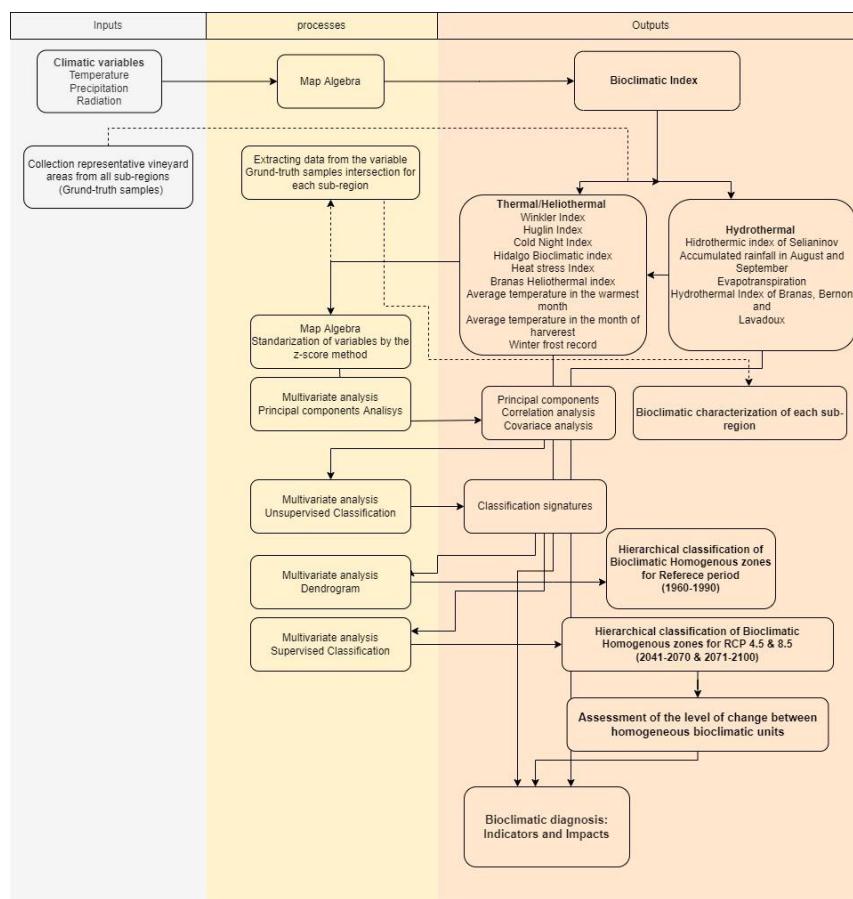


Figura 3.1. Fluxograma metodológico.

3.1. Cenarização climática

A cenarização climática consiste na recolha e tratamento de informação climática futura (projeções), com recurso a diferentes modelos, para dois cenários climáticos globais (RCP 4.5 e 8.5). Importa destacar que, um cenário climático é uma simulação numérica do clima no futuro, baseado em modelos de circulação geral da atmosfera e na representação do sistema climático e dos seus subsistemas (Bjørnæs, 2010).

Na modelação de cenários climáticos, são usados dados representativos das projeções de emissões, concentrações e mudanças da cobertura da terra designados por "Riscos de Concentração Representativa" (RCP's). A base de dados dos RCP's contempla dados harmonizados e consolidados dos RCP's, incluído CO₂, N₂O e gases fluorados, gases radioativos e quimicamente ativos (gases carbónicos negros orgânicos, metano, sulfetos e sulfitos, NO_x) a nível mundial (Bjørnæs, 2010).

Os modelos globais podem, por regionalização, originar modelos climáticos regionais. Estes são modelos para uma determinada região, obtidos por inferência estatística, que permitem acompanhar processos físicos em escalas mais pequenas com elevada precisão. Permitem o estudo de processos e geram informação relevante para estudos de vulnerabilidade, impactos e adaptação.

Existem vários RCP's disponíveis na literatura: um RCP alto para uma força radiativa que atinge $> 8,5\text{W/m}^2$, até 2100, e continua a aumentar por algum tempo; duas "vias de estabilização" intermediárias nas quais o forçamento radiativo é estabilizado a, aproximadamente, 6W/m^2 e $4,5\text{W/m}^2$, após 2100; e um caminho onde os picos de forçamento radiativo atingem, aproximadamente, 3W/m^2 , antes de 2100, e depois diminuem (Figura 3.2). Estes vários cenários representam caminhos de tempo, concentrações de GEE, aerossóis e gases quimicamente ativos, uso/cobertura do solo e desenvolvimento económico e tecnológico distintos para abranger uma grande multiplicidade de cenários de evolução (Figura 3.3) (IPCC, 2014).

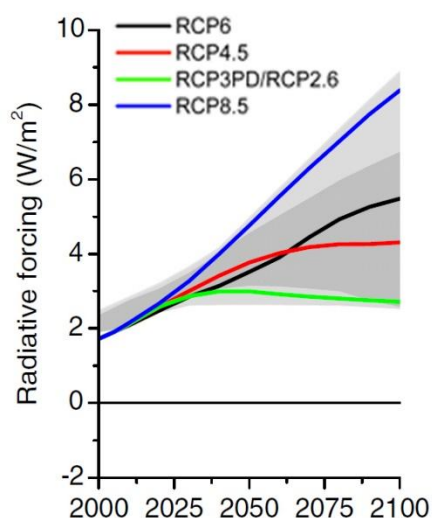


Figura 3.2. Evolução do forçamento radioativo W/m^2 .

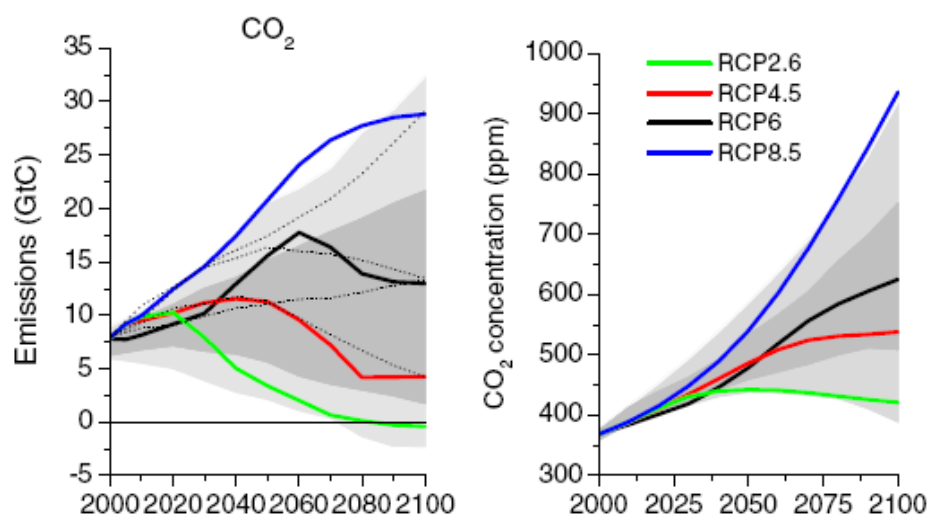


Figura 3.3. Emissões de CO₂ entre os RCP's (à esquerda) e tendências nas concentrações de CO₂ (à direita).

Devido ao facto da concentração atual de CO₂, na atmosfera, rondar as 400ppm, é consensual entre a comunidade científica, que o cenário mais provável de evolução seja entre:

- i. RCP 4.5: uma trajetória de aumento da concentração de CO₂ atmosférico até 520ppm em 2070, aumentando de forma mais lenta até ao final do século;
- ii. RCP 8.5: uma trajetória de crescimento semelhante ao RCP 4.5 até meio do século, seguida de um aumento rápido e acentuado, atingindo uma concentração de CO₂ de 950ppm no final do século.

Os RCP's considerados dependem intrinsecamente de fatores e pressupostos sociais e económicos como sejam, o tamanho da futura população mundial, a vontade política, os níveis de desenvolvimento e a evolução da tecnologia, entre outros (Bjørnæs, 2010). O cenário criado a partir do RCP 4.5 leva em conta as emissões provocadas por uma sociedade baseada no desenvolvimento sustentável, enquanto o RCP 8.5 representa uma sociedade fortemente dependente da emissão de GEE (Quadro 3.1) (Mouta, 2019)

Quadro 3.1. Pressupostos sobre o RCP utilizados (4.5 e 8.5) (Bjørnæs, 2010; Comunidade Intermunicipal do Alto Minho, 2019; Mouta, 2019).

Nome	Forçamento radioativo	Concentração (ppm)	Descrição do Cenário Criado	Aspetos recreados
RCP 4.5	≈4.5 w _m -2 estabilizando em 2100	≈650 com em 2100	O forçamento estabiliza pouco depois do ano 2100,	Baixo consumo energético. Forte aposta na reflorestação.

			Caracteriza-se por aumento de emissões até 2040 e uma redução ambiciosa até 2100.	Alteração dos padrões de alimentação. Implementação de políticas climáticas e emissões de metano estáveis
RCP 8.5	>8.5 °C em 2100	>1.370 CO ₂	Consistente com um futuro sem redução de emissões GEE ou implementação de políticas de adaptação às alterações climáticas	Triplificação das emissões CO ₂ até 2100, Aumento das emissões de CH ₄ . População mundial de 12 biliões em 2100 e consequente aumento de campos de agricultura e pastagem. Dependência de combustíveis fósseis para dar resposta as necessidades energéticas

Os dados simulados a partir dos modelos climáticos são, geralmente, representados espacialmente recorrendo a grelhas com uma resolução espacial associada à capacidade de cada modelo representarem mostrar/visualizar adequadamente os variados fenómenos atmosféricos e as massas terrestres e oceânicas (Comunidade Intermunicipal do Alto Minho, 2019; Mouta, 2019) (Quadro 3.2).

Quadro 3.2. Ficha técnica dos modelos e cenarização climática utilizada no estudo.

Nome:	Alto Minho
Região:	Norte
Período referência:	1960-1990
Períodos cenários:	2041-2070 e 2071-2100
Modelo utilizados	Modelo 1: ENSEMBLE disponibilizado pela ClimateEU- Modelo regionalizado a partir da média de 15 modelos: anESM2, ACCESS1.0, IPSL-CM5A-MR, MIROC5, MPI-ESM-LR, CCSM4, HadGEM2-ES, CNRM-CM5, CSIRO Mk 3.6, GFDL-CM3, INM-CM4, MRI-CGCM3, MIROC-ESM, CESM1-CAM5, GISS-E2R.
Resolução espacial:	Modelo 1: grelha de ≈ 1 km
Projeções (concentrações GEE):	RCP4.5 e RCP8.5

A caracterização/contextualização e cenarização do clima regional do Alto Minho foi realizada a partir da análise de diversas variáveis climáticas disponibilizadas através de:

- i. SNIRH- Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos;
- ii. IPMA- Instituto Português do Mar e da Atmosfera;
- iii. ClimateEu- historical and projected climate data for Europe - project Cordex 2 modelo ENSEMBLE;
- iv. Portal do Clima – IPMA- modelo *ENSEMBLE*;
- v. *Global Climate Monitor*.

De forma a identificar as anomalias projetadas entre o clima atual e futuro, todos os cálculos foram realizados para três períodos, de trinta anos (normais climáticas):

- vi. 1960-2000 [presente];
- vii. 2041-2070 (meio do século) [2050];
- viii. 2071-2100 (final do século) [2080].

Para cada uma das variáveis climáticas foram calculadas as médias mensais, sazonais e anuais, assim como alguns valores extremos, nomeadamente, o número de dias acima de determinados padrões (média por ano, relativamente a períodos de 30 anos).

3.2. Cálculo de índices bioclimáticos

A caracterização climática de uma região vitivinícola exige uma abordagem integrada que vá além das médias térmicas ou precipitação isolada. Para esse efeito, os índices bioclimáticos assumem um papel central, ao sintetizarem variáveis climáticas chaves num formato comparável e interpretável do ponto de vista agroecológico. Estes índices são amplamente utilizados em estudos de zonagem vitivinícola, permitindo identificar padrões espaciais de aptidão, delimitar regiões homogêneas e antecipar os impactos das alterações climáticas na vitivinicultura (Tonietto & Carbonneau, 2004a; Gladstones, 2011).

No contexto específico da Região dos Vinhos Verdes, marcada por forte heterogeneidade climática e topográfica, os IB's fornecem uma base objetiva para a avaliação da adequação vitivinícola das diferentes sub-regiões, não só no período atual como sob diferentes cenários climáticos projetados. Para além da temperatura, que influencia diretamente os processos fenológicos da vinha (como abrolhamento, maturação e colheita), a disponibilidade hídrica revela-se crítica para o balanço vegetativo e sanitário da planta, especialmente em contextos

de stress térmico crescente (Allaman et al., 2017; Andrade et al., 2022; Gladstones, 2011; Lorenzo et al., 2013; Miguel et al., 2015).

A seleção de índices bioclimáticos neste trabalho abrange tanto indicadores térmicos e heliotérmicos, que traduzem a acumulação de calor ao longo do ciclo, como indicadores hidrotérmicos, que captam o equilíbrio entre evapotranspiração e precipitação. Esta abordagem permite não apenas uma descrição climática detalhada do território, mas também a identificação de zonas de risco climático crescente, com potencial impacto na tipicidade e sustentabilidade da produção vitivinícola.

Ainda que amplamente utilizados, os IB's apresentam limitações quando aplicados isoladamente. A maioria baseia-se em médias mensais e não contempla as fases fenológicas críticas de forma diferenciada (Costa et al., 2016; Egipto, 2013). Apesar disso, a sua aplicação continua a ser fundamental em análises regionais e em cenários de planeamento a longo prazo, especialmente quando combinada com técnicas de análise multivariada e modelação espacial.

Neste sentido, os IB's não são apenas ferramentas de diagnóstico, mas instrumentos de suporte à decisão para adaptação ao clima, definição de castas mais resilientes, realocação de vinhas ou implementação de medidas agronómicas ajustadas a novos contextos climáticos.

3.2.1. Índices térmicos / Heliotérmicos

3.2.1.1. Índice de Winkler (IW)

Winkler (1964), definiu, para a Califórnia, o que se designou de Índice de Winkler (IW), e correspondendo ao somatório das temperaturas ativas, temperatura média subtraída pelo zero vegetativo (10 °C), para o período de abril a outubro segundo a equação de Ochoa Castro, (2013) (Equação 3.1)(Quadro 3.3) (Amerine & Winkler, 1944).

$$\sum_{outubro}^{abril} \left[\left(\frac{t_{max} - t_{min}}{2} \right) - 10^{\circ}C \right]$$

Equação 3.1. Índice de Winkler. Legenda: *Tmin*- Temperatura mínima mensal, *Tmax*- Temperatura máxima mensal.

Quadro 3.3. Caracterização das regiões vitivinícolas segundo o índice de Winkler.

Região I: Variedades para vinho seco de mesa de primeira qualidade.	< 1372°C
Região II: Produção da maioria dos vinhos comuns.	>=1372 < 1650

Região III: Uvas com alto teor de açúcar, por vezes baixas em ácidos orgânicos. Produção de vinhos excelentes; vinhos doces e naturais.	$\geq 1650 < 1927$
Região IV: Uvas com alto teor de açúcar, por vezes baixas em ácidos orgânicos. Produção de vinhos excelentes vinhos doces e naturais, sendo por vezes necessário rega.	$\geq 1927 < 2204$
Região V: Vinhos de mesa brancos e tintos aceitáveis desde que produzidos com variedades ricas em ácidos orgânicos, necessária rega.	≥ 2204

3.2.1.2. Índice heliotérmico de Huglin (IH)

Este índice é utilizado na vitivinicultura para determinar a adequação de uma zona para o cultivo da vinha, idealizado por Huglin. O Índice Heliotérmico é uma expressão da potencialidade de determinada região, para o cultivo da vinha, tendo em conta os valores da temperatura e latitude. Os valores considerados viáveis para a cultura da vinha encontram-se em zonas com índice heliotérmico (IH) superior a 1400 °C (María N. Lorenzo et al., 2016).

Segundo Machado (2010), o índice heliotérmico relaciona-se com as exigências térmicas da vinha, durante o seu ciclo vegetativo e avalia o potencial fototérmico (fotossintético) da área vitivinícola (Machado, 2010), ao longo do período. Este, indica a capacidade de maturação da região (produção de açúcares), além de incorporar a temperatura média e a duração do dia, considera a temperatura máxima diária de forma a levar em conta a fotossíntese do local. É considerado o período entre 1 de abril e 30 de setembro (Quadro 3.4) (Equação 3.2).

$$\sum_{\text{abril}}^{\text{setembro}} \frac{(T_{\text{média}} - 10) + (T_{\text{max}} - 10)}{2} K$$

Equação 3.2. Índice heliotérmico de Huglin. Legenda: $T_{\text{média}}$ - Temperatura média, T_{max} - Temperatura máxima, d - Coeficiente de horas de sol (1,02 a 1,06).

Este índice é calculado para os meses de crescimento e desenvolvimento da vinha, de abril a setembro. Esta época do ano coincide com a altura do abrolhamento, ou seja, do despontar das primeiras folhas, ramos e bagos até à altura da maturação, que é o momento do amadurecimento e colheita das uvas.

Os resultados do IH são dados em graus-dia (C.d, ou GD), o grau-dia é uma unidade de medida térmica, que permite analisar as épocas do ano mais propícias à plantação e colheita de espécies vegetais, determinando a duração e evolução das diferentes fases fenológicas das plantas (Fraga et al., 2012; Teslić, Zinzani, Parpinello, & Versari, 2018; Tonietto & Carbonneau, 2004). Com

feito, esta unidade estabelece a relação entre as exigências térmicas da planta cultivada – acumulação de calor para que atinja o seu desenvolvimento ótimo – e a temperatura do ar. A acumulação de graus-dia só é efetiva a partir do chamado “zero vegetativo”, ou seja, cerca de 10°C (María N. Lorenzo et al., 2016), correspondendo à diferença entre o valor da temperatura média diária e temperatura-base (Quadro 3.5).

Quadro 3.4. Valor do coeficiente de horas de sol.

K (valor do coeficiente)	Latitude
1.02	De 40°1` a 42°0`
1.03	De 42°1` a 44°0`
1.04	De 44°1` a 46°0`
1.05	De 46°1` a 48°0`
1.06	De 48°1` a 50°0`

Quadro 3.5. Classes do índice heliotérmico de Huglin.

Frio Insuportável	<900
Demasiado frio	900-1200
Muito frio	1200-1500
Frio	1500-1800
Temperado	1800-2100
Quente/Temperado	2100-2400
Quente	2400-2700
Muito quente	2700-3000
Demasiado quente	>3000

3.2.1.3. Índice Heliotérmico de Branas (BHI)

O índice heliotérmico de Branas considera as temperaturas médias diárias superiores a 10°C e a soma da intensidade de luz diária, durante o período de 1 de abril a 31 de outubro. Tem a vantagem de ter em conta a luminosidade diária que compensa, parcialmente, nas latitudes elevadas, o maior ângulo de incidência dos raios solares (Equação 3.3) (Bardin-Camparotto, Pedro Júnior, Blain, & Hernandez, 2015).

$$\sum_{outubro}^{abril} (T_{média} - 10^{\circ}C) * h * 10^{-6}$$

Equação 3.3. Índice Heliotérmico de Branas. Legenda: $T_{média}$ - Temperatura média, h - Radiação solar extraterrestre.

3.2.1.4. Índice de frescura das noites (IFN)

O frio noturno corresponde à média das temperaturas mínimas registadas no mês da colheita e está relacionado com a qualidade de maturação (aromas, coloração) da região, pois a ocorrência de noites amenas, no final do processo de maturação da vinha, em pleno verão, proporciona mais cor e riqueza de aromas ao vinho. O IFN é definido como a média das temperaturas mínimas em setembro, a sua introdução melhorou a avaliação do potencial qualitativo das regiões vitivinícolas (Equação 3.4) (Quadro 3.6) (Fraga et al., 2012b; Nuno Magalhães, 2008; Tonietto & Carbonneau, 2004; van Leeuwen & Darriet, 2016b).

$$IFN = T_{min}(Setembro)$$

Equação 3.4. Índice de frescura das noites. Legenda: T_{min} - Temperatura mínima.

Quadro 3.6. Índice de frescura das noites; intervalos entre classes.

Classes do clima	Intervalo de classes °C
De noites quentes	> 18
De noites temperadas	$< 14 \leq 18$
De noites frias	$< 12 \leq 14$
De noites muito frias	≤ 12

3.2.1.5. Índice bioclimático de Hidalgo (IBC)

O Índice bioclimático de Hidalgo surge como uma alteração no índice bioclimático de Constantinescu, de forma a torná-lo mais sensível ao ambiente pois, até a precipitação que ocorre no período de dormência da vinha, pode ter uma importância decisiva na sua produção. Assim, este índice pretende avaliar a possibilidade de cultivo da vinha, sem irrigação, relacionando as temperaturas ativas (temperaturas superiores a 10°C) e a iluminação, que são os principais responsáveis pela fotossíntese, com a precipitação anual (Equação 3.5)(Nuno Magalhães, 2008) .

$$ibc = \sum_{setembro}^{abril} \frac{(T_{média} - 10) * I * 10^{-3}}{P}$$

Equação 3.5. Índice bioclimático de Hidalgo. Legenda: P - Precipitação média $T_{média}$ - Temperatura média, I - Iluminação eficaz.

As zonas favoráveis consideram-se compreendidas entre os valores de 5 a 25, considerando-se um ótimo para $IBC = 15 \pm 10$.

3.2.1.6. Índice de Stress Térmico (HSI)

O Índice de Stress Térmico (HSI) corresponde à temperatura máxima média do mês mais quente, geralmente julho, e é utilizado como indicador da exposição da vinha a condições térmicas extremas durante a fase crítica do desenvolvimento vegetativo e início da maturação (Equação 3.6).

$$HSI = T_{max}(07)$$

Equação 3.6. Índice de stress térmico. Legenda: *HSI*- Índice de stress térmico; *T_{max}(07)*- Temperatura máxima no mês mais quente.

O HSI é particularmente relevante para a avaliação dos efeitos das alterações climáticas na fisiologia da vinha, uma vez que temperaturas elevadas, sobretudo acima dos 35 °C, podem causar:

- i. Escaldão devido à exposição direta ao sol e ao colapso dos tecidos epidérmicos;
- ii. Desidratação dos frutos, comprometendo o calibre, firmeza e rendimento;
- iii. Interferência na fotossíntese e na assimilação de carbono, reduzindo a produtividade;
- iv. Aceleração excessiva da maturação, com implicações negativas na acidez, frescura e equilíbrio fenológico.

Assim, o HSI é um índice sensível às alterações climáticas projetadas para os meses de verão e fornece informação crítica para a identificação de sub-regiões vitivinícolas com risco crescente de stress térmico severo. A sua utilização permite antecipar a necessidade de ajustes na condução da vinha, escolha de castas mais tolerantes ao calor e implementação de estratégias agronómicas de mitigação (ex. sombreamento, cobertura do solo, rega de emergência)(Atak, 2024; Baltazar et al., 2025b; Fonseca et al., 2025).

3.2.1.7. Temperatura média do mês mais quente (ATWM)

O índice ATWM (Average Temperature of the Warmest Month) representa a temperatura média do mês mais quente do ano, sendo geralmente o mês de julho na maioria das regiões vitivinícolas do Hemisfério Norte (Equação 3.7).

$$ATWM = T_{média}(07)$$

Equação 3.7. Temperatura média no mês mais quente. Legenda: *ATWM*- Temperatura média no mês mais quente *Tmédia (07)* - Temperatura média em julho.

Este indicador é fundamental para a caracterização do ambiente térmico na fase mais crítica do ciclo fenológico da vinha, abrangendo o pleno desenvolvimento vegetativo, o início da maturação dos bagos e o potencial início da *veraison*. A temperatura média elevada durante este período pode:

- i. Acelerar o metabolismo da planta, encurtando a duração das fases fenológicas;
- ii. Reduzir a acumulação de compostos fenólicos e aromáticos, especialmente em castas brancas;
- iii. Alterar o equilíbrio entre açúcares e acidez, impactando a qualidade enológica final;
- iv. Expor a vinha a stress térmico moderado a severo, sobretudo quando associado a défices hídricos.

Valores crescentes de *ATWM* nos cenários futuros apontam para um deslocamento climático significativo, exigindo adaptações no sistema de produção, como a escolha de castas mais tardias, realocização de vinhas para zonas de maior altitude, ou ajustamentos na gestão da copa e cobertura do solo (Keller, 2023; Nuno Magalhães, 2008; Van Leeuwen, 2010; van Leeuwen & Darriet, 2016b).

3.2.1.8. Temperatura média no mês da colheita (*ATHM*)

O índice *ATHM* (Average Temperature of the Harvest Month) corresponde à temperatura média registada no mês da colheita, geralmente setembro (Equação 3.8).

$$ATHM = T_{média}(09)$$

Equação 3.8. Temperatura média no mês mais de colheita. Legenda: *ATHM*- Temperatura média no mês de colheita *Tmédia (09)* - Temperatura média em setembro.

Este indicador fornece uma medida essencial das condições térmicas durante a fase final de maturação da vinha, sendo particularmente relevante para a qualidade enológica do fruto. Temperaturas elevadas neste período podem:

- i. Reduzir a acidez natural da uva, dificultando a obtenção de vinhos equilibrados e frescos;

- ii. Aumentar a concentração de açúcares, resultando em vinhos com teores alcoólicos mais elevados;
- iii. Comprometer a síntese de compostos fenólicos e aromáticos, afetando negativamente a estrutura e o perfil sensorial dos vinhos;
- iv. Antecipar o ponto ótimo de maturação, exigindo ajustes logísticos na calendarização da vindima.

Valores elevados de ATHM, especialmente sob cenários climáticos futuros, poderão colocar em risco a tipicidade e frescura dos vinhos da região, nomeadamente nas castas brancas mais sensíveis ao calor. Por isso, este índice é um parâmetro-chave na avaliação da adaptabilidade varietal e na definição de estratégias de mitigação climática (Keller, 2023; Nuno Magalhães, 2008; Van Leeuwen, 2010; van Leeuwen & Darriet, 2016b).

3.2.2. Índices Hidrotérmicos

3.2.2.1. Índice Hidrotérmico de Branas, Bernon e Lavadoux (BBLI/P)

Este índice permite estudar a influência da temperatura e da precipitação no rendimento das uvas e na qualidade do vinho, para dar a conhecer a possibilidade de ataques fungicos. É obtido pelo produto dos valores da precipitação mensal com a temperatura média mensal no período compreendido entre 1 de abril a 31 de agosto (Quadro 3.7) (Equação 3.9) (M. N. Lorenzo et al., 2013; María N. Lorenzo et al., 2016).

$$\sum_{Abril}^{Agosto} (T_{média} . P)$$

Equação 3.9. Índice Hidrotérmico de Branas, Bernon e Lavadoux. Legenda: *T_{média}*- Temperatura média, *P*- Precipitação média mensal.

Quadro 3.7. Risco de contaminação, segundo o Índice Hidrotérmico de Branas, Bernon e Lavadoux.

Risco de contaminação (°C.mm)	
Baixo risco de contaminação	<2500
Médio risco de contaminação	2500 - 5100
Alto risco de contaminação	5100 - 7500
Muito alto risco de contaminação	> 7500

3.2.2.2. Índice hidrotérmico de Selianinov (K/HIS)

O índice hidrotérmico tem por objetivo definir grandes zonas vitivinícolas em função das disponibilidades hídricas naturais, sendo usado para determinar a duração e intensidade do período de seca. Este é calculado a partir da razão, entre a precipitação mensal e as temperaturas ativas, durante o período de 1 de março a 30 de novembro (Equação 3.10) (Quadro 3.8) (Fraga et al., 2012; Tonietto & Carbonneau, 2004; Webb et al., 2007).

$$\sum_{\text{março}}^{\text{novembro}} \left(\frac{P}{T_{\text{média}} - 10} \right)$$

Equação 3.10. Índice de frescura das noites. Legenda: *P*- Precipitação média *T_{média}*- Temperatura média.

Quadro 3.8. Classes do índice hidrotérmico de Selianinov.

Regime hídrico	Valor
Regime hídrico insuficiente	<1
Regime hídrico normal	1-3
Regime hídrico excessivo	>3

3.2.2.3. Evapotranspiração Potencial (ETP)

A evapotranspiração é um processo essencial na dinâmica hídrica das culturas, representando a soma da evaporação da superfície do solo e da transpiração pelas plantas. No contexto vitivinícola, este parâmetro é fundamental para avaliar as necessidades hídricas da vinha, o stress hídrico. A evapotranspiração potencial (ETP) representa o volume de água que seria evapotranspirado por uma cultura de referência sob condições ótimas de disponibilidade hídrica e cobertura vegetal.

Neste trabalho, a evapotranspiração foi estimada pelo método de Hargreaves-Samani (1985), uma metodologia empírica amplamente utilizada em situações de ausência de dados de radiação solar real ou de variáveis completas da equação de Penman-Monteith. A equação base utilizada segue as recomendações de Allen et al., (2006) para zonas com disponibilidade de dados de temperatura e latitude.

Para o cálculo dos valores da evapotranspiração mensal, pelo método de Hargreaves-Samani (ETP), foram utilizados dados mensais de temperatura máxima, média e mínima do ar e a

latitude, obtidos na referida base, e a expressão obtida a partir de Allen *et al.*, (2006) (Equação 3.11):

$$Etp = k.ra.(Tmax - Tmin).0,5.(tmin + 17,78)$$

Equação 3.11. Evapotranspiração mensal. Legenda: *Tmax*- Temperatura máxima *Tmin*- Temperatura mínima, *ra*- radiação e *k*- Coeficiente empírico da equação.

Onde, *k* é o coeficiente empírico da equação, igual a 0,0023; *ra* é a radiação solar média mensal incidente no topo da atmosfera (mm. mês⁻¹); *T_{máx}* é o valor médio mensal da temperatura máxima do ar (°C); *T_{min}* é o valor médio mensal da temperatura mínima do ar (°C); *T_{méd}* é o valor médio mensal da temperatura média do ar (°C). Os valores de *ra* variam com a latitude, declinação e ângulo horário solar e foram calculados segundo a metodologia de Allen (1996) (Equação 3.12). (De Teixeira et al., 2014; X. Wang et al., 2018).

A evapotranspiração mensal da vinha (*TV*) é calculada através da seguinte equação:

$$TV = ETP.k$$

Equação 3.12. Evapotranspiração mensal da vinha.

Em que, *k* é o coeficiente de absorção de radiação pela vinha, sendo igual a 0,1 para o primeiro mês do ciclo vegetativo da cultura, 0,3 para o segundo mês e, 0,5 para os demais meses (Equação 3.13).

A evaporação mensal do solo (*Es*) foi determinada pela expressão:

$$Es = \left(\frac{ETP}{N} \right) . (1.k).JPm$$

Equação 3.13. Evaporação mensal do solo.

Em que, *N* representa número de dias do mês e *JPm* corresponde ao número de dias por mês de evaporação efetiva do solo, que é calculado dividindo-se *P* por 5 e que deve ser igual ou inferior a *N*.

3.2.2.4. Precipitação acumulada em agosto e setembro (PP0809)

A precipitação acumulada nos meses de agosto e setembro (PP0809) corresponde à soma da precipitação total registrada nesse período, coincidindo com a fase final do ciclo fenológico da vinha — ou seja, o período de maturação e colheita das uvas. Este indicador é particularmente

relevante para a vitivinicultura, pois incide diretamente sobre o risco de problemas fitossanitários, tais como o desenvolvimento de doenças fúngicas e de diluição da qualidade dos bagos, afetando negativamente a concentração de açúcares, ácidos e compostos fenólicos (Equação 3.14).

O índice foi calculado através da expressão:

$$PP0809 = PP(08) + PP(09)$$

Equação 3.14. Precipitação acumulada em agosto e setembro. Legenda: *P*- Precipitação média
T_{média}- Temperatura média.

A interpretação dos valores de PP0809 permite avaliar a exposição da vinha a condições excessivamente húmidas no final do ciclo, que além de comprometerem a qualidade do fruto, dificultam as operações de vindima e aumentam os custos de tratamento. Valores elevados deste índice estão geralmente associados a:

- i. Atrasos na maturação e colheita;
- ii. Diminuição da concentração de açúcares;
- iii. Necessidade de tratamentos fitossanitários adicionais;
- iv. Perdas por deterioração e menor qualidade enológica.

Por outro lado, valores moderados a baixos de PP0809, se acompanhados por temperaturas suaves, podem favorecer a sanidade e a concentração fenólica das uvas, desde que não coincidam com défices hídricos severos (Nuno Magalhães, 2008; Sanderson et al., 2023; Yan et al., 2022).

3.3. Recolha de pontos de referência (ground-truth points)

Com o objetivo de caracterizar de forma representativa as condições bioclimáticas das sub-regiões da Região Demarcada dos Vinhos Verdes, foram extraídos pontos de referência (ground-truth) a partir das áreas ocupadas por vinha, identificadas na Carta de Uso e Ocupação do Solo de 2018 (COS2018). Estes pontos serviram como base para a interseção espacial com os índices bioclimáticos calculados, garantindo a representatividade vitivinícola de cada sub-região no processo de análise climática. A extração foi realizada de forma estratificada, assegurando a cobertura homogénea do território vitivinícola regional.

3.4. Caracterização e evolução bioclimática das sub-regiões da Região Demarcada dos Vinhos Verdes

Com o objetivo de caracterizar quantitativamente as condições bioclimáticas das sub-regiões da Região Demarcada dos Vinhos Verdes e avaliar a sua evolução em diferentes cenários climáticos, foi implementado um procedimento de extração espacial dos principais índices bioclimáticos:

- i. As variáveis bioclimáticas foram intersectadas com os limites vetoriais das sub-regiões da Região Demarcada dos Vinhos Verdes, através de um processo de extração raster-vetor. Esta operação permitiu caracterizar quantitativamente o perfil bioclimático de cada sub-região, com base nos índices selecionados;
- ii. Foram estimadas as variações absolutas entre os cenários futuros e o cenário presente (Δ índice), com o intuito de quantificar a magnitude das alterações projetadas por sub-região.

Este procedimento permitiu identificar gradientes espaciais de acumulação térmica, variações na disponibilidade hídrica e alterações projetadas com relevância agronómica para a vitivinicultura regional. A abordagem adotada assegura consistência metodológica e comparabilidade entre índices e cenários.

3.5. Normalização dos Índices Bioclimáticos

Os índices bioclimáticos calculados foram normalizados para o intervalo [0, 1], de forma a eliminar o efeito de diferentes escalas e unidades de medição entre variáveis, garantindo assim a comparabilidade e evitando enviesamentos nos procedimentos estatísticos subsequentes.

A normalização foi realizada segundo a seguinte expressão:

$$S = \frac{(R - (\min(R)))}{(\max(R)) - (\min(R))}$$

Equação 3.15. Fórmula de normalização. Legenda: S - valor normalizado; R – Valor Real; max (R) – Valor máximo real; min (R)- Valor mínimo real.

Este procedimento assegura que todas as variáveis passem a ter a mesma ordem de magnitude, mantendo a distribuição espacial relativa dos dados, e evitando que variáveis com valores absolutos mais elevados influenciem de forma desproporcionada a análise multivariada.

3.6. Análise de Componentes Principais (PCA)

Com o objetivo de reduzir a dimensionalidade do conjunto de dados bioclimáticos e eliminar redundâncias entre variáveis, foi aplicada uma Análise de Componentes Principais (PCA). Esta técnica estatística multivariada transforma um conjunto de variáveis correlacionadas num novo sistema de eixos ortogonais, as componentes principais, permitindo representar a variabilidade original com um número reduzido de variáveis derivadas, não correlacionadas entre si (Akbar et al., 2022; Petrișor et al., 2012).

A aplicação da PCA permite:

- i. Minimizar a colinearidade entre variáveis;
- ii. Identificar os principais gradientes de variação climática;
- iii. Facilitar os processos de agrupamento multivariado posteriores.

A análise foi baseada na matriz de correlação das variáveis padronizadas, assegurando a comparabilidade entre índices com diferentes escalas de medição. A transformação estatística resultante produziu um conjunto ordenado de componentes principais, cada uma associada a um autovalor que indica a proporção da variância explicada.

O número de componentes retidas para análise posterior foi definido com base em critérios estatísticos clássicos, nomeadamente o critério de Kaiser (autovalores superiores a 1) e a análise do gráfico de declive (scree plot), assegurando a preservação da maior parte da informação original.

As componentes principais obtidas foram utilizadas como variáveis de entrada nos métodos de classificação subsequentes, contribuindo para a definição de zonas homogêneas do ponto de vista bioclimático, sem redundância entre eixos.

3.7. Classificação Não Supervisionada (ISO Cluster)

Foi utilizada uma abordagem de classificação não supervisionada, recorrendo ao algoritmo ISO Cluster, com base nas componentes principais retidas da Análise de Componentes Principais (PCA). O método implementa um processo iterativo de agrupamento multivariado que separa os dados em grupos unimodais distintos no espaço definido pelas variáveis de entrada, minimizando a distância euclidiana entre elementos de cada grupo (Hogland et al., 2013).

Cada iteração envolve:

- i. Atribuição de cada célula ao centroide mais próximo;
- ii. Reajuste dos centros de classe com base nos elementos atribuídos;
- iii. Repetição do processo até estabilização dos grupos ou atingir o número máximo de iterações.

O número de classes foi definido com base em critérios exploratórios, garantindo a representatividade dos padrões bioclimáticos regionais e a coerência espacial dos agrupamentos.

3.8. Classificação Supervisionada por Máxima Verosimilhança (MLC)

Com base nos agrupamentos resultantes da classificação não supervisionada, foi aplicada uma classificação supervisionada utilizando o método da Máxima Verosimilhança. Este algoritmo assume que os dados de cada classe seguem uma distribuição normal multivariada e determina, para cada célula, a probabilidade estatística de pertença a cada classe, considerando os vetores médios e matrizes de covariância.

A célula é atribuída à classe com maior probabilidade de pertença, segundo os princípios do Teorema de Bayes. Este procedimento permite obter uma segmentação mais ajustada, incorporando não apenas a média das classes, mas também a sua variabilidade interna.

O produto final desta etapa consiste num mapa de unidades bioclimáticas homogêneas, resultante de um processo de classificação multivariada rigorosa, suportado por variáveis derivadas de índices bioclimáticos relevantes para a vitivinicultura (Hogland et al., 2013).

3.9. Hierarquização das Unidades Bioclimáticas Homogêneas

Após a classificação supervisionada por Máxima Verosimilhança, foi implementado um processo de hierarquização das Unidades Bioclimáticas Homogêneas (UBH), com o objetivo de estruturar cada classe segundo níveis sucessivos de proximidade bioclimática.

A hierarquização foi baseada nas assinaturas estatísticas (GSG – Group Signature Generation) geradas a partir da classificação não supervisionada (ISO Cluster). Cada grupo identificado no espaço das componentes principais (PCA) foi caracterizado com base nos seus valores médios para cada variável bioclimática. Com base nessas assinaturas, foi construído um dendrograma utilizando métodos de aglomeração hierárquica (método Ward.D2), aplicados à matriz de distâncias entre os grupos ISO Cluster. Este dendrograma serviu como suporte para a definição

de uma estrutura taxonómica composta por seis níveis hierárquicos. Cada classe final foi então codificada com um identificador hierárquico no formato Nível1, Nível2, Nível3, Nível4, Nível5 e Nível6 (ex: A.1.2.3.4.5), refletindo o seu posicionamento relativo na árvore de proximidade entre UBH.

Este processo permitiu:

- i. Incorporar a estrutura de similaridade climática entre grupos;
- ii. Comparar cenários ao nível estrutural, quantificando a profundidade das alterações;
- iii. Estabelecer uma linguagem comum para análise espacial e temporal da tipologia bioclimática.

A codificação hierárquica serviu ainda de base para o cálculo da intensidade de alteração entre cenários, possibilitando análises multiescalares com fundamentação ecológica e climática robusta.

3.10. Avaliação da intensidade da alteração entre unidades bioclimáticas homogéneas

Para quantificar a intensidade das alterações bioclimáticas previstas para a Região dos Vinhos Verdes, foi adotada uma abordagem baseada na comparação direta dos códigos hierárquicos atribuídos às Unidades Bioclimáticas Homogéneas (UBH), entre o cenário presente e os cenários futuros (RCP 4.5 e RCP 8.5).

Cada pixel classificado possui um código hierárquico composto por seis níveis (ex: A.1.2.3.4.5), representando diferentes escalas de agrupamento bioclimático. A intensidade de alteração foi definida com base no nível mais elevado da hierarquia onde ocorre divergência entre os códigos dos dois cenários. Quanto mais precoce a divergência (mais à esquerda), maior a alteração bioclimática (Quadro 3.9).

Quadro 3.9. Descrição das alterações nas UBH.

Nível	Exemplo	Descrição Qualitativa
0	A.1.1.1.1.1 → A.1.1.1.1.1	Sem alteração – manutenção total da UBH
1	A.1.1.1.1.1 → A.1.1.1.1.2	Alteração mínima – mudança apenas no nível 6
2	A.1.1.1.1.1 → A.1.1.1.2.1	Alteração leve – diferença ao nível 5
3	A.1.1.1.1.1 → A.1.1.2.1.1	Alteração moderada – diferença ao nível 4
4	A.1.1.1.1.1 → A.1.2.1.1.1	Alteração significativa – mudança ao nível 3
5	A.1.1.1.1.1 → A.2.1.1.1.1	Alteração elevada – diferença ao nível 2
6	A.1.1.1.1.1 → B.1.1.1.1.1	Alteração estrutural – transição de grupo

O resultado final é contínuo com valores entre 0 e 6, representando a profundidade da alteração bioclimática projetada para cada pixel.

3.11. Diagnóstico bioclimático do setor vitivinícola: Indicadores e Impactes

Com o objetivo de interpretar os efeitos das alterações climáticas nas condições de produção vitivinícola da Região dos Vinhos Verdes, foi desenvolvido um modelo de diagnóstico espacial assente na aplicação de índices agroclimáticos com reconhecida relevância para o ciclo fenológico da vinha. Este modelo foi concebido como uma ferramenta de apoio à decisão, capaz de sintetizar e qualificar os principais impactes bioclimáticos ao nível da exploração agrícola, permitindo assim uma leitura agronómica imediata da aptidão e vulnerabilidade do território.

A abordagem adotada complementa a modelação multivariada e a definição das UBH (Unidades Bioclimáticas Homogéneas), introduzindo uma camada interpretativa baseada em escalas ordinais por índice, onde cada intervalo foi codificado segundo o seu significado agronómico. Os critérios de classificação foram definidos com base em referências da literatura internacional e ajustados ao contexto regional com o apoio de conhecimento especializado.

Foram considerados 12 índices climáticos e agroclimáticos, agrupados em cinco grandes categorias funcionais:

- i. Intensidade da alteração bioclimática: avaliada com base na divergência hierárquica entre UBH (nível A);
- ii. Potencial térmico acumulado: Huglin, Winkler e temperatura máxima no mês mais quente (nível B1);
- iii. Temperaturas críticas de maturação e colheita: temperatura média em julho, setembro e índice de frescura noturna (nível B2);
- iv. Indicadores hídrotérmicos: evapotranspiração (ET0), índice de Selianinov, precipitação nos meses de colheita (PP0809) e índice de Branas-Bernon-Lavadooux (nível C);
- v. Indicadores compostos: índices bioclimáticos de Hidalgo e Branas (nível F).

Cada índice foi convertido em classes discretas, a que correspondeu um código adaptativo (ex: B1a, C3f, F2c), e associada uma interpretação agronómica clara, refletindo a adequação ou risco para a vinha. Esta estrutura foi sistematizada no Quadro 3.10, onde se detalha: O índice utilizado; O parâmetro representado; A sua função agronómica no ciclo da vinha; Os intervalos

de classificação; O código adaptativo atribuído; A interpretação qualitativa correspondente (Quadro 3.10).

Este sistema permite, por exemplo, identificar zonas com sobrematuração recorrente (ex: HSI > 32 °C, código B2f), ou deficiência térmica severa (ex: IH < 1500, código B1a), assim como regiões de alto risco fúngico (ex: BBLI > 7500, código D1d). O cruzamento espacial destes critérios permite gerar mapas de alerta, otimizar a escolha de castas, orientar práticas de gestão adaptativa e informar decisões estratégicas de realocização ou reconversão da vinha. A codificação adaptativa foi posteriormente integrada nas ferramentas de análise espacial que evidencia os padrões de adequação e risco em diferentes cenários climáticos, promovendo uma leitura multiescalar e funcional do território vitivinícola.

Quadro 3.10. Sistema de classificação dos indicadores bioclimáticos.

Nome do Grupo	Grupo	Índice	Parâmetro representado	Função agronómica	Código	Intervalo	Interpretação agronómica
Intensidade da alteração bioclimática	A	Intensidade de Alteração das Unidades bioclimáticas homogéneas	Alteração multivariada das UBH	Grau de mudança bioclimática	A1	≥ 6	Alteração muito intensa
	A	Intensidade de Alteração das Unidades bioclimáticas homogéneas	Alteração multivariada das UBH	Grau de mudança bioclimática	A2	4 – 6	Alteração intensa
	A	Intensidade de Alteração das Unidades bioclimáticas homogéneas	Alteração multivariada das UBH	Grau de mudança bioclimática	A3	2 – 4	Alteração moderada
	A	Intensidade de Alteração das Unidades bioclimáticas homogéneas	Alteração multivariada das UBH	Grau de mudança bioclimática	A4	1 – 2	Alteração reduzida
	A	Intensidade de Alteração das Unidades bioclimáticas homogéneas	Alteração multivariada das UBH	Grau de mudança bioclimática	A5	< 1	Alteração não relevante
Potencial térmico acumulado	B1	Índice heliotérmico de Huglin	Potencial heliotérmico acumulado	Potencial térmico para maturação	B1a	≤ 1500	Potencial insuficiente – risco de maturação incompleta
	B1	Índice heliotérmico de Huglin	Potencial heliotérmico acumulado	Potencial térmico para maturação	B1b	1501 – 1800	Potencial térmico limitado – castas precoces recomendadas
	B1	Índice heliotérmico de Huglin	Potencial heliotérmico acumulado	Potencial térmico para maturação	B1c	1801 – 2100	Ideal para maioria das castas da região
	B1	Índice heliotérmico de Huglin	Potencial heliotérmico acumulado	Potencial térmico para maturação	B1d	2101 – 2400	Clima quente – antecipação da vindima provável

B1	Índice heliotérmico de Huglin	Potencial heliotérmico acumulado	Potencial térmico para maturação	B1e	2401 – 2700	Sobrematuração possível de castas tradicionais
B1	Índice heliotérmico de Huglin	Potencial heliotérmico acumulado	Potencial térmico para maturação	B1f	2701 – 3000	Redução da acidez e perda de tipicidade
B1	Índice heliotérmico de Huglin	Potencial heliotérmico acumulado	Potencial térmico para maturação	B1g	> 3000	Sobrematuração extrema – risco crítico de tipicidade
B1	Temperatura máxima no período mais quente	Temperatura máxima estival	Avaliação de stress térmico	B2a	22 – 23.9	Sem risco de stress térmico
B1	Temperatura máxima no período mais quente	Temperatura máxima estival	Avaliação de stress térmico	B2b	24 – 25.9	Stress térmico muito reduzido
B1	Temperatura máxima no período mais quente	Temperatura máxima estival	Avaliação de stress térmico	B2c	26 – 27.9	Stress térmico reduzido
B1	Temperatura máxima no período mais quente	Temperatura máxima estival	Avaliação de stress térmico	B2d	28 – 30	Stress térmico moderado
B1	Temperatura máxima no período mais quente	Temperatura máxima estival	Avaliação de stress térmico	B2e	30.1 – 32	Stress térmico elevado
B1	Temperatura máxima no período mais quente	Temperatura máxima estival	Avaliação de stress térmico	B2f	> 32	Stress térmico muito elevado
B1	Índice de Winkler	Graus-dia para maturação	Aptidão para maturação	B5a	≤ 1372	Frio – maturação insuficiente
B1	Índice de Winkler	Graus-dia para maturação	Aptidão para maturação	B5b	1373 – 1650	Temperado – adequado para castas precoces
B1	Índice de Winkler	Graus-dia para maturação	Aptidão para maturação	B5c	1651 – 1927	Quente – boa maturação, diversidade varietal
B1	Índice de Winkler	Graus-dia para maturação	Aptidão para maturação	B5d	1928 – 2204	Muito quente – perda de acidez possível

Temperaturas críticas de maturação e colheita	B1	Índice de Winkler	Graus-dia para maturação	Aptidão para maturação	B5e	> 2204	Excesso de calor – sobrematuração frequente
	B2	Temperatura média no período mais quente	Temperatura média em julho	Maturação e sobrematuração	B3a	≤ 20	Temperatura insuficiente – risco de maturação incompleta
	B2	Temperatura média no período mais quente	Temperatura média em julho	Maturação e sobrematuração	B3b	20.1 – 22	Ligeiramente abaixo do ideal, ainda favorável
	B2	Temperatura média no período mais quente	Temperatura média em julho	Maturação e sobrematuração	B3c	22.1 – 24	Temperatura ideal para maturação equilibrada
	B2	Temperatura média no período mais quente	Temperatura média em julho	Maturação e sobrematuração	B3d	24.1 – 26	Possível perda parcial de frescura
	B2	Temperatura média no período mais quente	Temperatura média em julho	Maturação e sobrematuração	B3e	26.1 – 28	Risco de desequilíbrio fenológico
	B2	Temperatura média no período mais quente	Temperatura média em julho	Maturação e sobrematuração	B3f	28.1 – 30	Sobrematuração – vindima antecipada necessária
	B2	Temperatura média no período mais quente	Temperatura média em julho	Maturação e sobrematuração	B3g	30.1 – 32	Perda de acidez e risco de escaldão
	B2	Temperatura média no período mais quente	Temperatura média em julho	Maturação e sobrematuração	B3h	> 32	Perda de compostos aromáticos – sobrematuração severa
	B2	Temperatura média no período de colheita	Temperatura média em setembro	Maturação na vindima	B4a	≤ 18	Fresco – maturação lenta, preservação fenólica
	B2	Temperatura média no período de colheita	Temperatura média em setembro	Maturação na vindima	B4b	18.1 – 20	Maturação equilibrada
	B2	Temperatura média no período de colheita	Temperatura média em setembro	Maturação na vindima	B4c	20.1 – 22	Perda de acidez possível
	B2	Temperatura média no período de colheita	Temperatura média em setembro	Maturação na vindima	B4d	22.1 – 24	Exige antecipação da vindima
	B2	Temperatura média no período de colheita	Temperatura média em setembro	Maturação na vindima	B4e	24.1 – 26	Desequilíbrio na maturação provável

	B2	Temperatura média no período de colheita	Temperatura média em setembro	Maturação na vindima	B4f	26.1 – 28	Sobrematuração provável
	B2	Temperatura média no período de colheita	Temperatura média em setembro	Maturação na vindima	B4g	28.1 – 30	Perda de compostos aromáticos
	B2	Temperatura média no período de colheita	Temperatura média em setembro	Maturação na vindima	B4h	> 30	Sobrematuração severa e desidratação
	B2	Índice de frescura noturna	Temperatura mínima noturna	Amplitude térmica	E1d	≤ 12	Noites muito frias – risco de atrasos na maturação
	B2	Índice de frescura noturna	Temperatura mínima noturna	Amplitude térmica	E1a	12.1 – 14	Noites frias – melhor acidez e expressão aromática
	B2	Índice de frescura noturna	Temperatura mínima noturna	Amplitude térmica	E1b	14.1 – 18	Noites temperadas – amplitude reduzida
	B2	Índice de frescura noturna	Temperatura mínima noturna	Amplitude térmica	E1c	> 18	Noites quentes – degradação de compostos aromáticos
	C	Evapotranspiração de referência pelo método de Hargreaves-Samani	Evapotranspiração potencial	Avaliação do déficit hídrico	C1a	≤ 750	Muito baixo – possíveis limitações térmicas
	C	Evapotranspiração de referência pelo método de Hargreaves-Samani	Evapotranspiração potencial	Avaliação do déficit hídrico	C1b	751 – 850	Baixo – balanço hídrico estável
	C	Evapotranspiração de referência pelo método de Hargreaves-Samani	Evapotranspiração potencial	Avaliação do déficit hídrico	C1c	851 – 900	Moderado – exigência ligeira de água
	C	Evapotranspiração de referência pelo método de Hargreaves-Samani	Evapotranspiração potencial	Avaliação do déficit hídrico	C1d	901 – 950	Moderado-alto – maior risco de déficit
	C	Evapotranspiração de referência pelo método de Hargreaves-Samani	Evapotranspiração potencial	Avaliação do déficit hídrico	C1e	951 – 1000	Elevado – déficit hídrico provável
	C	Evapotranspiração de referência pelo método de Hargreaves-Samani	Evapotranspiração potencial	Avaliação do déficit hídrico	C1f	> 1000	Muito elevado – risco de stress hídrico
Indicadores hidrotérmicos	C	Índice hidrotérmico de Selianinov	Reservas hídricas	Equilíbrio hídrico	C2a	≤ 1	Défice hídrico – risco de stress e menor rendimento

	C	Índice hidrotérmico de Selianinov	Reservas hídricas	Equilíbrio hídrico	C2b	1.1 – 3	Intervalo equilibrado – boa disponibilidade
	C	Índice hidrotérmico de Selianinov	Reservas hídricas	Equilíbrio hídrico	C2c	> 3	Excesso de humidade – risco fúngico
	C	Precipitação acumulada em agosto e setembro	Precipitação em agosto-setembro	Risco sanitário e colheita	C3a	≤ 20	Muito baixa – risco de desidratação das uvas
	C	Precipitação acumulada em agosto e setembro	Precipitação em agosto-setembro	Risco sanitário e colheita	C3b	21 – 40	Reduzida – ligeiro stress hídrico
	C	Precipitação acumulada em agosto e setembro	Precipitação em agosto-setembro	Risco sanitário e colheita	C3c	41 – 60	Equilibrada
	C	Precipitação acumulada em agosto e setembro	Precipitação em agosto-setembro	Risco sanitário e colheita	C3d	61 – 80	Moderada – pode afetar a colheita
	C	Precipitação acumulada em agosto e setembro	Precipitação em agosto-setembro	Risco sanitário e colheita	C3e	81 – 100	Significativa – risco de doenças fúngicas
	C	Precipitação acumulada em agosto e setembro	Precipitação em agosto-setembro	Risco sanitário e colheita	C3f	101 – 110	Elevada – aumento do risco de podridões
	C	Precipitação acumulada em agosto e setembro	Precipitação em agosto-setembro	Risco sanitário e colheita	C3g	> 110	Muito elevada – impacte sanitário crítico
	C	Índice hidrotérmico de Branas Bernon e Lavadoux	Dias com risco fúngico	Ameaça fitossanitária	D1a	< 2500	Baixo risco por doenças fúngicas
	C	Índice hidrotérmico de Branas Bernon e Lavadoux	Dias com risco fúngico	Ameaça fitossanitária	D1b	2500 – 5100	Médio risco por doenças fúngicas
	C	Índice hidrotérmico de Branas Bernon e Lavadoux	Dias com risco fúngico	Ameaça fitossanitária	D1c	5101 – 7500	Alto risco por doenças fúngicas
	C	Índice hidrotérmico de Branas Bernon e Lavadoux	Dias com risco fúngico	Ameaça fitossanitária	D1d	> 7500	Muito alto risco por doenças fúngicas
Indicadores compostos de balanço agroclimático	F	Índice bioclimático de Hidalgo	Stress agroclimático composto	Avaliação integrada do ambiente	F1a	< 5	Impacte negativo – maturação incompleta

F	Índice bioclimático de Hidalgo	Stress agroclimático composto	Avaliação integrada do ambiente	F1b	5 – 10	Frescura e equilíbrio típicos dos Vinhos Verdes
F	Índice bioclimático de Hidalgo	Stress agroclimático composto	Avaliação integrada do ambiente	F1c	10.1 – 20	Elevado potencial produtivo e qualidade
F	Índice bioclimático de Hidalgo	Stress agroclimático composto	Avaliação integrada do ambiente	F1d	20.1 – 25	Risco de perda de frescura
F	Índice bioclimático de Hidalgo	Stress agroclimático composto	Avaliação integrada do ambiente	F1e	> 25	Sobrematuração e perda de tipicidade
F	Índice heliotérmico de Branas	Aptidão climática integrada	Síntese térmica e hídrica	F2a	≤ 4	Défice térmico e luminoso – risco de maturação incompleta
F	Índice heliotérmico de Branas	Aptidão climática integrada	Síntese térmica e hídrica	F2b	4.1 – 7	Boa acumulação de açúcares e fenóis
F	Índice heliotérmico de Branas	Aptidão climática integrada	Síntese térmica e hídrica	F2c	7.1 – 9	Potencial elevado – possível desequilíbrio álcool/acidez
F	Índice heliotérmico de Branas	Aptidão climática integrada	Síntese térmica e hídrica	F2d	> 9	Excesso de calor/luz – perda de frescura

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

4.1. Caracterização da sub-região dos vinhos verdes

A Região dos Vinhos Verdes localiza-se no noroeste da Península Ibérica, sendo delimitada a norte pelo rio Minho, a sul pelo rio Douro e pelas serras da Freita, Arada e Montemuro, a este pelas serras da Peneda, Gerês, Cabreira e Marão, a oeste pelo Oceano Atlântico. O Atlântico exerce uma forte influência sobre esta região, contribuindo para um clima de temperaturas amenas, baixa amplitude térmica, precipitação média elevada e radiação solar reduzida.

Os solos da região são maioritariamente de origem granítica, com textura arenosa ou franco-arenosa (Valín et al., 2017). A Região Demarcada dos Vinhos Verdes estende-se por todo o noroeste de Portugal, na zona tradicionalmente designada por Entre-Douro-e-Minho. Em termos de área geográfica, é a maior região demarcada portuguesa e uma das maiores da Europa (IVV, 2016).

As condições climáticas são fortemente influenciadas pela orografia e pela rede hidrográfica. O aspeto mais destacado é o regime de precipitação, com valores anuais médios elevados (cerca de 1200 mm), distribuídos de forma irregular ao longo do ano, com maior concentração no inverno e primavera. A evolução térmica acompanha, em certa medida, o comportamento da precipitação. As temperaturas médias anuais, máximas e mínimas não são excessivas, conferindo à região um clima globalmente suave.

O relevo é bastante irregular, atravessado por uma densa rede de vales associados aos cursos de água, sendo esta complexidade topográfica particularmente acentuada do litoral para o interior (IVV, 2016). Considerações de ordem cultural, microclimática, enológica e agronómica — como o tipo de vinho, as castas predominantes e os modos de condução da vinha — levaram à divisão da área geográfica da Denominação de Origem “Vinho Verde” em nove sub-regiões (Quadro 4.1)(Figura 4.1) (IVV, 2016).

Quadro 4.1. Sub-regiões da Região Demarcada dos Vinhos Verdes (IVV, 2016).

Sub-região	Descrição	Castas recomendadas
Amarante	Zona protegida da influência atlântica e situada a média altitude. Apresenta maiores amplitudes térmicas e verões mais quentes, favorecendo castas de maturação tardia.	Branças: Azal, Avesso Tintas: Amaral, Espadeiro
Ave	Vinha distribuída ao longo da bacia hidrográfica do rio Ave, em relevo irregular e baixa altitude. Clima com baixa amplitude térmica e precipitação média. Propício à produção de vinhos brancos frescos de maturação média.	Branças: Arinto, Loureiro

Baião	Localizada no limite sudeste da região, a altitude intermédia origina um clima menos temperado, com invernos frios e secos e verões quentes. Adequada a castas de maturação tardia.	Branças: Azal, Avesso Tintas: Amaral
Basto	Sub-região mais interior, com altitude elevada e clima rigoroso: invernos frios e muito chuvosos; verões quentes e secos. Favorece castas de ciclo longo.	Branca: Azal Tintas: Espadeiro, Rabo-de-Anho
Cávado	Localiza-se ao longo da bacia hidrográfica do rio Cávado, com exposição aos ventos marítimos e relevo irregular a baixa altitude. Clima ameno, com baixa amplitude térmica e precipitação média.	Branças: Arinto, Loureiro, Trajadura
Lima	Apresenta precipitação mais elevada da região. O relevo irregular e a variação altimétrica criam microclimas entre o litoral e o interior (designados por Baixo Lima e Alto Lima). Clima suave com forte influência atlântica.	Branças: Loureiro, Arinto, Trajadura Tintas: Vinhão, Borraçal
Monção e Melgaço	Localizada na margem sul do rio Minho, em encostas intermédias. Microclima muito particular: invernos frios com precipitação intermédia e verões quentes e secos. Fraca influência atlântica.	Branca: Alvarinho Tinta: Alvarelhão
Paiva	Apresenta amplitudes térmicas intermédias e verões quentes. Menor exposição à influência marítima, mais interior e a maior altitude. Favorável à maturação de castas tintas.	Branças: Avesso, Arinto, Trajadura Tintas: Amaral, Vinhão
Sousa	Sub-região de transição. Clima ameno, com baixa amplitude térmica e número reduzido de dias de calor extremo. Precipitação ligeiramente inferior à média regional.	Branças: Arinto, Loureiro, Trajadura, Azal, Avesso Tintas: Amaral, Espadeiro

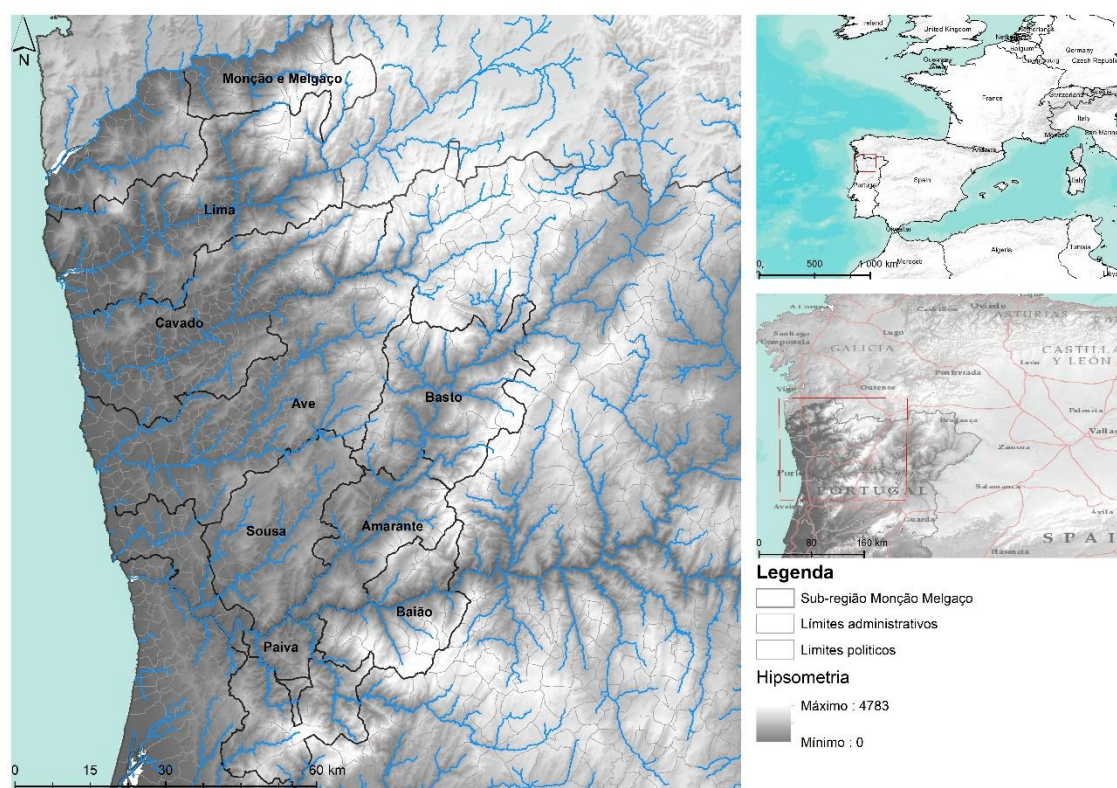


Figura 4.1. Enquadramento geográfico da área de estudo.

4.2. Análise dos índices bioclimáticos

4.2.1. Índices heliotérmicos

Os índices térmicos e heliotérmicos evidenciam uma forte correlação entre si, refletindo comportamentos semelhantes ao longo da região. As áreas de maior altitude, sobretudo nas sub-regiões de Basto, Baião, Lima interior e Monção e Melgaço, apresentam os valores mais baixos, caracterizando-se como zonas mais frescas. Por outro lado, os vales associados às principais bacias hidrográficas, nomeadamente Tâmega, Douro, Ave, Cávado e Sousa, evidenciam valores mais elevados, traduzindo uma maior acumulação térmica.

As temperaturas máximas e médias mais elevadas observam-se de forma consistente nos vales interiores a sul da região, com destaque para as sub-regiões de Sousa, Paiva e Amarante, que se destacam nos mapas de Huglin (IH), Winkler (WI) e ATWM como as áreas mais quentes. Em contrapartida, os extremos mínimos de temperatura concentram-se nas zonas de maior altitude e nos vales interiores abrigados, com um gradiente térmico crescente em direção ao litoral, associado à influência oceânica.

O índice de frescura das noites (IFN) varia significativamente ao longo da região. Nas zonas de cota mais elevada, os valores permanecem frequentemente abaixo de 12 °C no cenário de referência, indicando noites frias benéficas para o desenvolvimento de compostos fenólicos e aromáticos. Em regiões mais expostas e de menor altitude, os valores do IFN ultrapassam os 15 °C, refletindo noites temperadas ou quentes, sobretudo sob cenários RCP 8.5. A cartografia mostra ainda que, até ao final do século, as zonas com noites frias se tornam residuais.

Durante o período de referência (1960–1990), a generalidade da região apresenta índices térmicos moderados, compatíveis com a produção de castas brancas de maturação precoce. No entanto, nas sub-regiões mais interiores, os somatórios térmicos (IH e WI) atingem limiares superiores a 1700 °C, aproximando-se das classes IV e V, mais favoráveis a castas tintas de ciclo longo. As zonas de altitude elevada mantêm-se com valores moderados, não ultrapassando os 1400–1500 °C, o que limita o cultivo a castas precoces.

Em cenário de alterações climáticas, observa-se um aumento expressivo dos valores térmicos em todos os índices que envolvem variáveis de temperatura (Huglin, Winkler, Branas, HSI). As sub-regiões litorais, como Lima, Cávado, Ave e Sousa, revelam aumentos absolutos muito significativos, indicando que zonas tradicionalmente frescas poderão vir a comportar-se, no futuro, como zonas de elevada acumulação térmica.

No cenário mais severo (RCP 8.5, 2071–2100), verifica-se uma redução quase total das zonas frescas e temperadas, sendo substituídas por zonas classificadas como quentes ($IH > 2400\text{ }^{\circ}\text{C}$) e demasiado quentes ($IH > 2700\text{ }^{\circ}\text{C}$). A sub-região de Sousa, por exemplo, apresenta valores que ultrapassam os $32\text{ }^{\circ}\text{C}$ no HSI, sugerindo risco elevado de escaldão e quebra na produtividade. Esta transição compromete fortemente a aptidão para castas brancas de elevada qualidade, restringindo o seu cultivo a zonas de maior altitude e exposição norte. As alterações observadas nos índices ATWM e ATHM confirmam um aumento progressivo das temperaturas médias mensais nos meses críticos da maturação. Os valores no mês mais quente (ATWM) ultrapassam os $28\text{ }^{\circ}\text{C}$ nas sub-regiões do interior sob RCP 8.5, enquanto as temperaturas médias em setembro (ATHM) ultrapassam os $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ em grande parte da região, com impacto direto na acidez e no perfil sensorial dos vinhos. O índice de registo de geadas de inverno (WFR) apresenta uma distribuição distinta dos restantes, com valores mais elevados nas zonas litorais e mínimas mais baixas nos vales interiores e zonas de altitude. Apesar de os valores máximos absolutos continuarem a ocorrer no litoral, a projeção para cenários futuros indica uma redução significativa da frequência de geadas em toda a região, sobretudo no interior sul, o que poderá alterar o comportamento fenológico da vinha, nomeadamente o abrolhamento precoce e a redução de riscos de geadas tardias (Figura 4.2, Figura 4.3 e Figura 4.4).

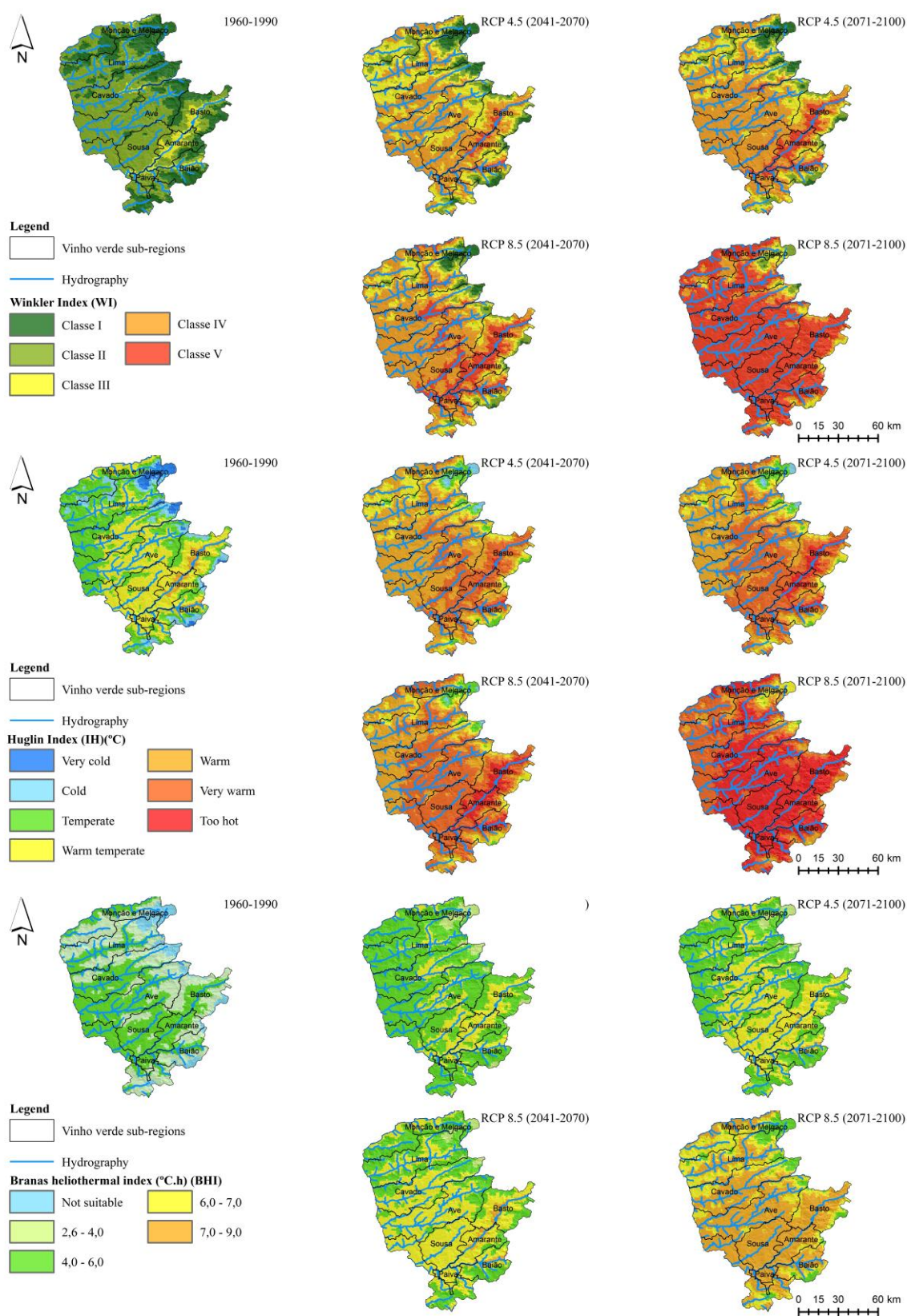


Figura 4.2. Distribuição espacial e evolução em contexto de alterações climáticas do Índice de Winkler (IW), Índice heliotérmico de Huglin (IH) e Índice heliotérmico de Branas (BHI) para a Região Demarcada dos Vinhos Verdes.

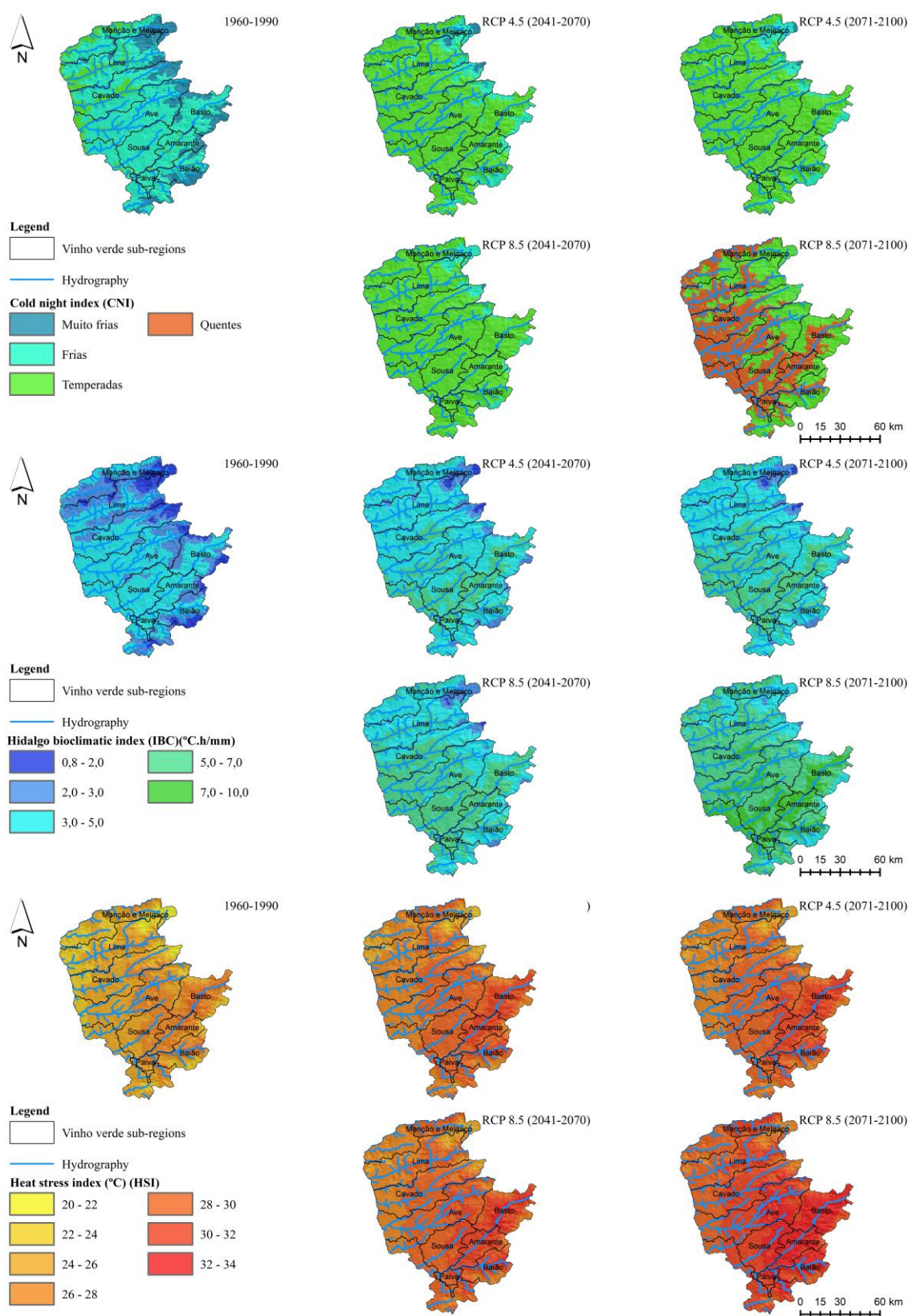


Figura 4.3. Distribuição espacial e evolução em contexto de alterações climáticas do Índice de frescura das noites (IFN), Índice bioclimático de Hidalgo (IBC) e índice de stress térmico (HSI) para a Região Demarcada dos Vinhos Verdes.

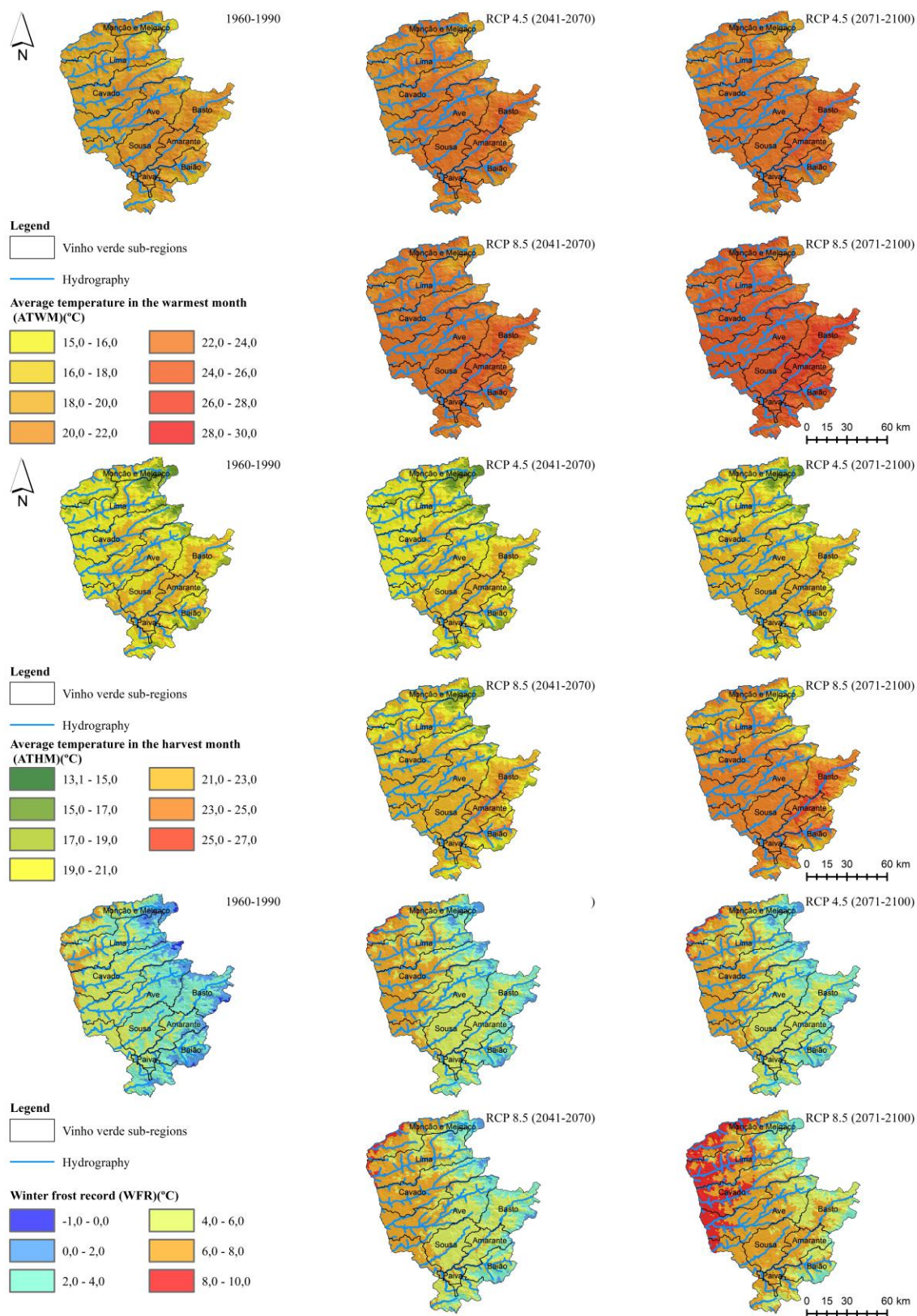


Figura 4.4. Distribuição espacial e evolução em contexto de alterações climáticas da Temperatura média do período mais quente (ATWM), Temperatura média no mês de colheita

(ATHM) para a Região Demarcada dos Vinhos Verdes e do registo de geadas de inverno (WFR).

4.2.1.1. Caracterização/Evolução dos índices heliotérmicos por sub-região

A análise dos índices térmicos e heliotérmicos por sub-região permite observar não apenas a distribuição espacial da acumulação térmica no período de referência, mas sobretudo a magnitude e o ritmo das alterações previstas em diferentes cenários climáticos. A representação gráfica fornece informação detalhada sobre a mediana, variabilidade e extremos, permitindo comparações robustas entre as sub-regiões da Região Demarcada dos Vinhos Verdes.

No período de 1960–1990, as sub-regiões de Amarante, Baião e Basto destacam-se com os valores mais elevados de WI (medianas próximas ou acima de 1700 °C.d), inserindo-se nas classes III–IV. Em contraste, sub-regiões como Lima, Ave e Sousa apresentam valores mais baixos (classe II), sendo consideradas zonas frescas. A variabilidade interna é notável em Baião, com registos mínimos abaixo de 1400 °C.d, indicando microclimas mais frescos.

As projeções para RCP 4.5 e RCP 8.5 revelam aumentos sistemáticos em todas as sub-regiões. No cenário mais severo (RCP 8.5, 2071–2100), quase todas ultrapassam a classe IV, sendo que Paiva, Sousa e Baião atingem valores superiores a 2400–2600 °C.d, enquadrando-se plenamente na classe V, tradicionalmente associada a vinhos de mesa de maturação tardia. As sub-regiões com maior incremento absoluto (>1000 °C.d) são Sousa, Ave e Lima, evidenciando um processo de mudança climática progressiva até em zonas anteriormente frescas (Figura 4.5).

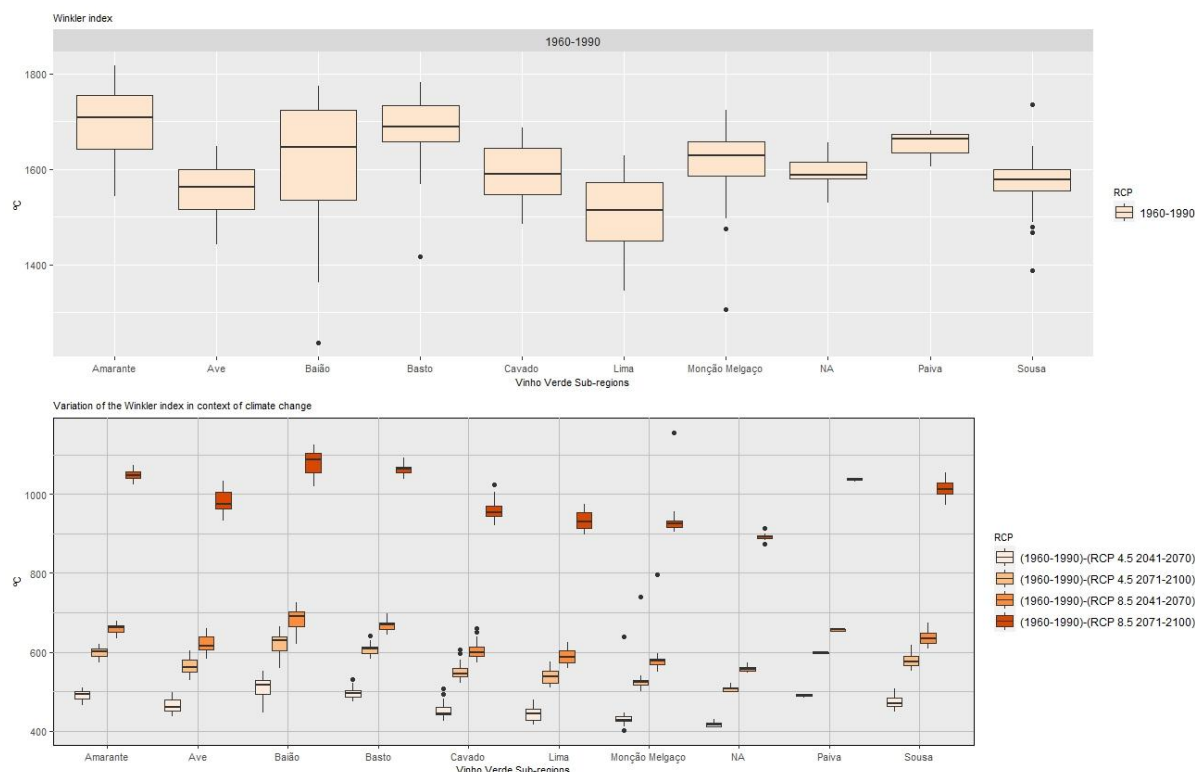


Figura 4.5. Caracterização/Evolução do Índice de Winkler (WI) por sub-região da Região Demarcada dos Vinhos Verdes.

A distribuição do IH segue um padrão semelhante ao de Winkler, embora com valores absolutos mais elevados (2400–2500 °C no período base em Amarante e Baião). A classificação climática de Huglin posiciona estas sub-regiões já dentro da categoria “quente” no período de referência. Sub-regiões como Lima, Cávado e Monção e Melgaço mantêm-se entre os 2100–2200 °C, mais próximas da classe “temperada”.

Nos cenários futuros, o IH mostra um alargamento das classes “muito quente” e “demasiado quente”, especialmente em Sousa, Amarante, Paiva e Ave, que ultrapassam os 3000 °C no cenário RCP 8.5 final do século. Estes valores são compatíveis com zonas vitivinícolas mediterrânicas secas, com potencial produtivo elevado, mas riscos crescentes de sobrematuração e stress térmico. Também se destaca a crescente homogeneização da região, com redução da variabilidade interna, o que pode indicar perda de diversidade microclimática (Figura 4.6).

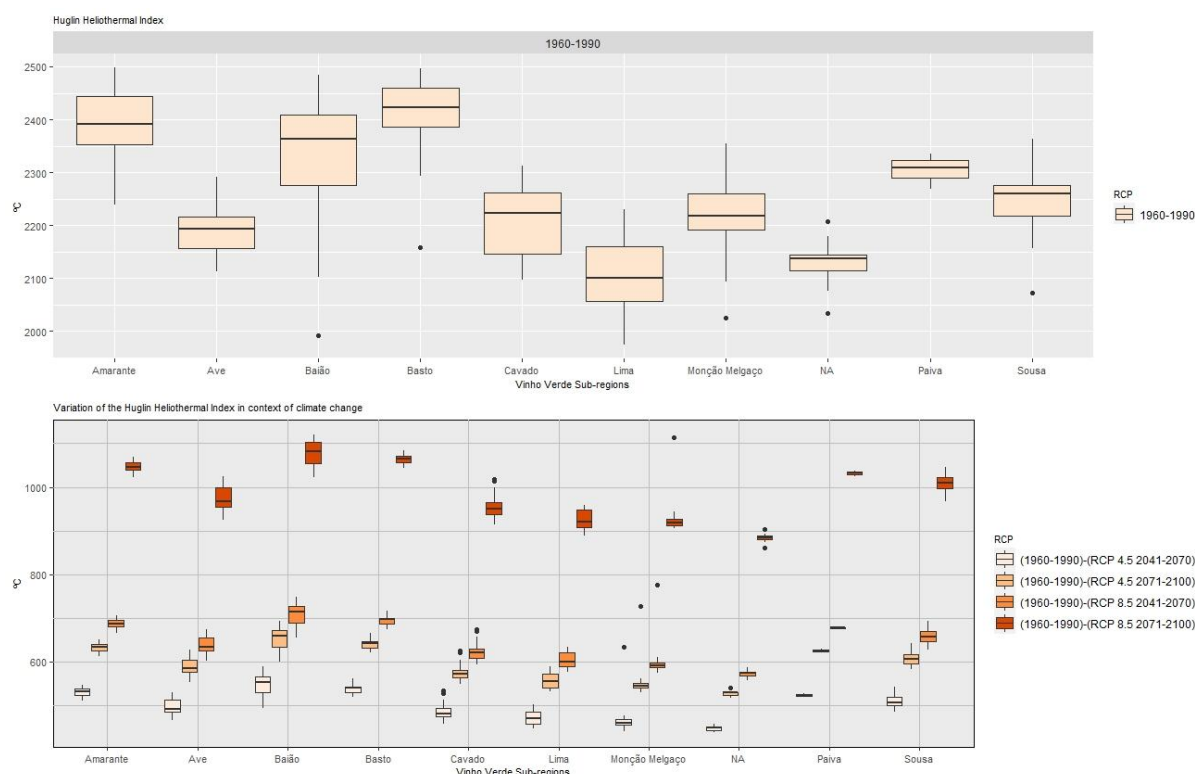


Figura 4.6. Caracterização/Evolução do Índice heliotérmico de Huglin (IH) por sub-região da Região Demarcada dos Vinhos Verdes.

O índice heliotérmico de Branas, mais conservador por incluir fatores de radiação, apresenta valores significativamente mais baixos, oscilando entre 4,0–4,8 no período base. As sub-regiões de Amarante, Baião e Paiva continuam a liderar em valores absolutos, enquanto Monção e Melgaço e Cávado apresentam os mais baixos.

Os aumentos projetados mantêm-se moderados em termos absolutos (incrementos médios de 1–1,5 °C·h), mas revelam uma mudança de classe importante: sub-regiões que antes se situavam entre 3,5–4,0 passam a alcançar ou ultrapassar os 6,0 no cenário RCP 8.5, limiar a partir do qual se considera aptidão plena. Destaque para Sousa e Baião, que poderão atingir valores >7,0 °C·h (Figura 4.7).

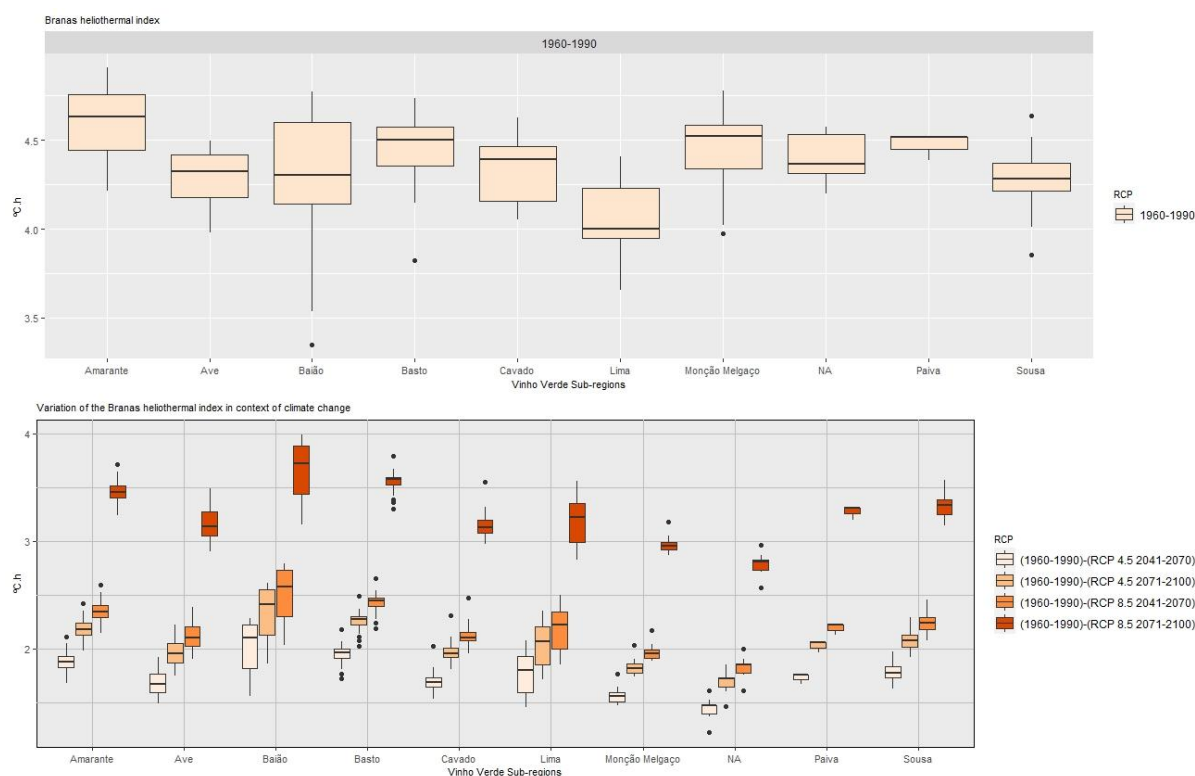


Figura 4.7. Caracterização/Evolução do Índice heliotérmico de Branas (BHI) por sub-região da Região Demarcada dos Vinhos Verdes.

No período de referência, o IFN mantém valores entre 13–15 °C, com Monção e Melgaço, Lima e Cávado a apresentar as noites mais frescas (média <13,5 °C), e Sousa e Paiva como as sub-regiões mais quentes (>14,5 °C). A dispersão é menor do que nos índices acumulativos, o que reflete menor variabilidade intra-sub-regional.

Com a evolução climática, o IFN aumenta gradualmente em todas as sub-regiões. Em RCP 8.5, Amarante, Ave, Paiva e Sousa ultrapassam os 17 °C, aproximando-se do limite superior para maturação equilibrada, enquanto Monção e Melgaço e Basto se mantêm abaixo dos 15 °C. Estes valores indicam potencial perda de frescura aromática e coloração, sobretudo nas castas brancas (Figura 4.8).

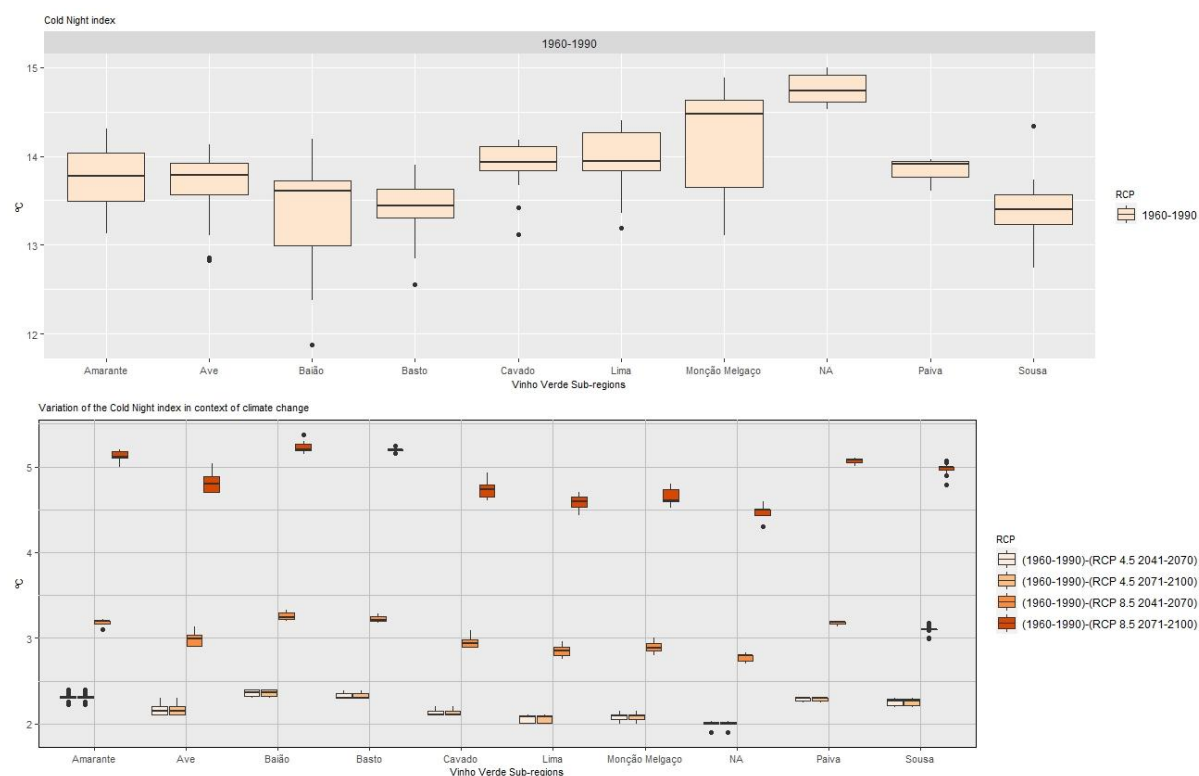


Figura 4.8. Caracterização/Evolução do Índice de frescura das noites (IFN) por sub-região da Região Demarcada dos Vinhos Verdes.

O IBC, que integra temperatura e precipitação, apresenta-se entre 3,0 e 4,5 no período base, com Sousa, Amarante e Paiva nos valores mais altos. A sua variação segue tendências semelhantes às dos índices térmicos, com incrementos significativos sob RCP 8.5 ($>1,0$ unidade em algumas sub-regiões). Estes aumentos refletem maior potencial produtivo, mas também maior risco de desequilíbrio hídrico e sanitário (Figura 4.9).

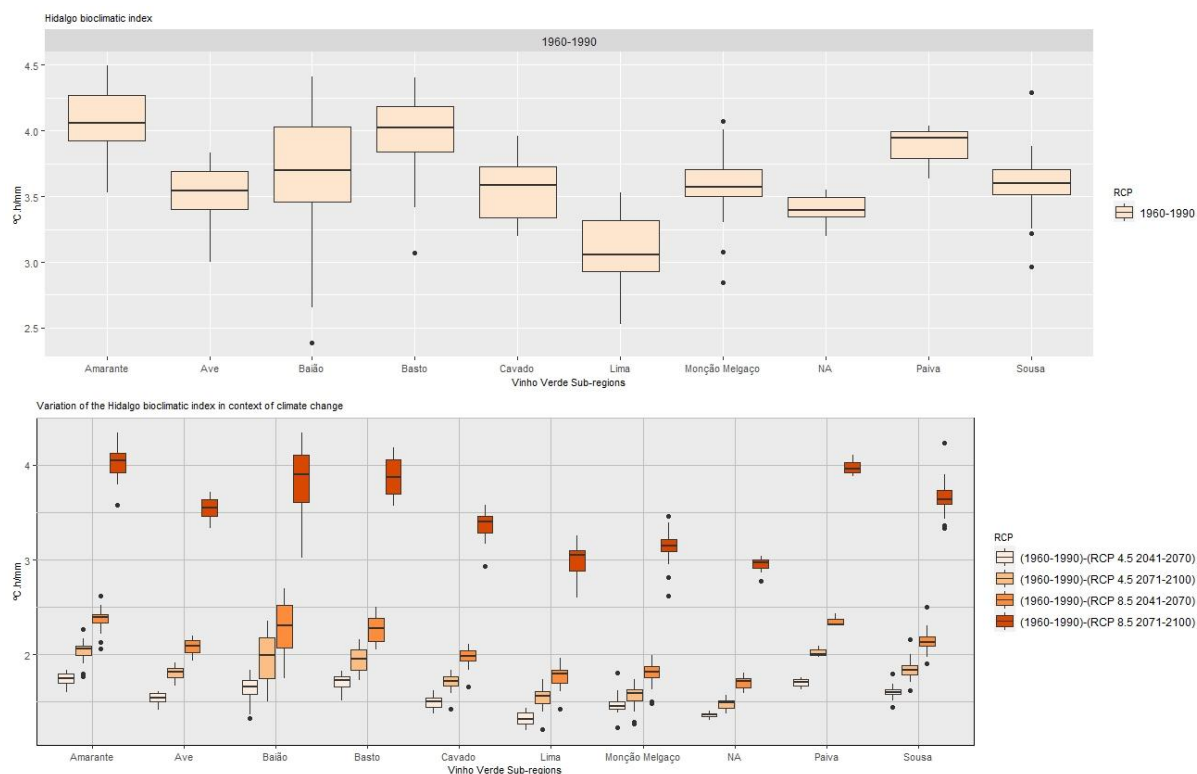


Figura 4.9. Caracterização/Evolução do Índice bioclimático de Hidalgo (IBC) por sub-região da Região Demarcada dos Vinhos Verdes.

Este índice, baseado na temperatura máxima durante o mês mais quente, mostra valores entre 25–28 °C no período base. As sub-regiões mais afetadas são Baião, Paiva e Sousa. A projeção indica aumentos de até 6 °C sob RCP 8.5, com valores médios a ultrapassar os 32 °C, sobretudo em Sousa e Amarante, o que representa risco real de escaldão, quebras de produção e maior exigência de práticas adaptativas (Figura 4.10).

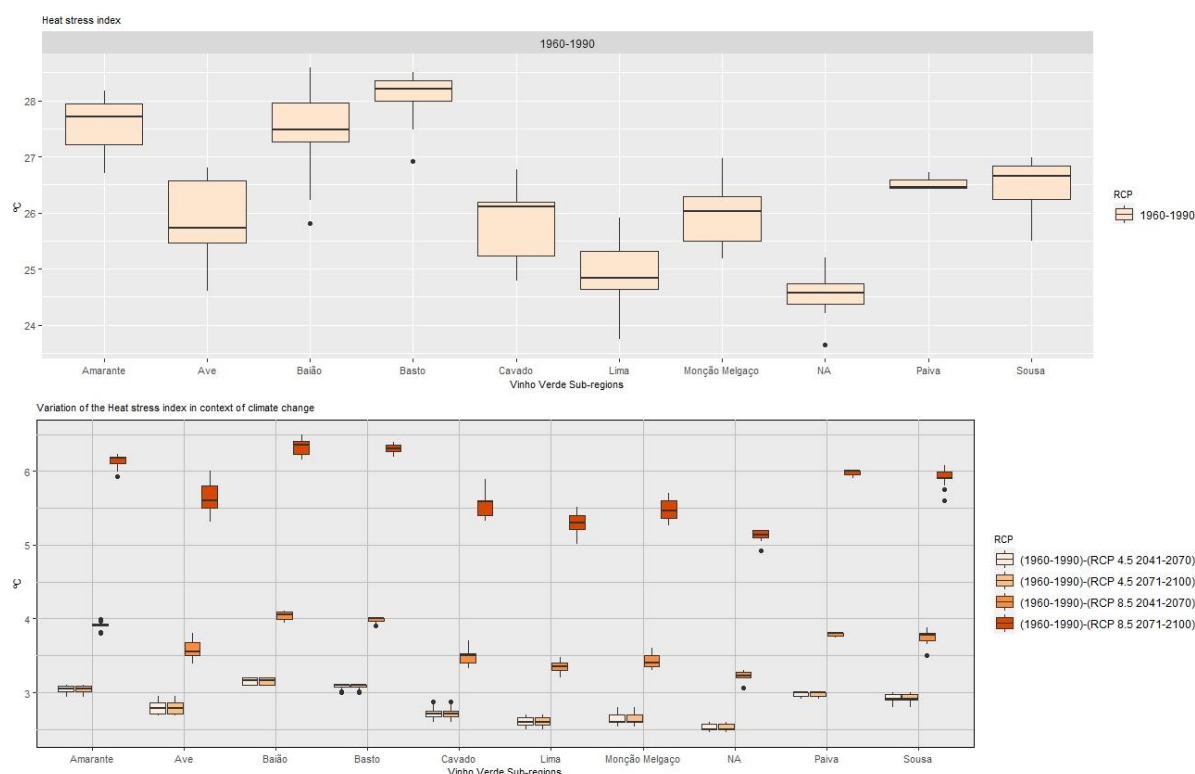


Figura 4.10. Caracterização/Evolução do Índice de stress térmico (HSI) por sub-região da Região Demarcada dos Vinhos Verdes.

As temperaturas médias mensais nos períodos críticos do ciclo vegetativo da vinha constituem indicadores-chave da adequação climática à vitivinicultura e da potencial qualidade enológica. A temperatura média no mês mais quente (ATWM) reflete as condições térmicas máximas durante a fase de desenvolvimento vegetativo e maturação inicial dos bagos. Já a temperatura média no mês da vindima (ATHM) traduz as condições térmicas no momento crucial de maturação final, influenciando diretamente a acumulação de açúcares, a degradação de ácidos e a síntese de compostos fenólicos e aromáticos.

Os valores médios de ATWM situam-se entre os 20–22 °C no período de referência (1960–1990), com variações moderadas entre sub-regiões. Sub-regiões como Paiva, Sousa, Amarante e Ave destacam-se já nesse período com valores mais elevados. Em contraste, Monção e Melgaço, Lima e Basto mantêm temperaturas médias mais moderadas, inferiores a 21 °C, refletindo a influência da altitude e da exposição oceânica.

Com a progressão dos cenários climáticos (RCP 4.5 e 8.5), verifica-se um aumento acentuado da ATWM em todas as sub-regiões. No cenário mais severo (RCP 8.5, 2071–2100), Sousa, Paiva e Ave ultrapassam os 28 °C, enquanto Amarante, Baião e Basto apresentam medianas

superiores a 26 °C. Estes valores colocam estas sub-regiões dentro de um intervalo térmico onde se verifica um elevado risco de stress térmico fisiológico, com impactos esperados na fotossíntese, respiração e metabolismo secundário da vinha. A persistência de temperaturas elevadas durante este período pode reduzir o calibre dos bagos, acelerar a maturação e comprometer o equilíbrio entre açúcares e acidez, exigindo ajustes ao nível das práticas culturais (Figura 4.11).

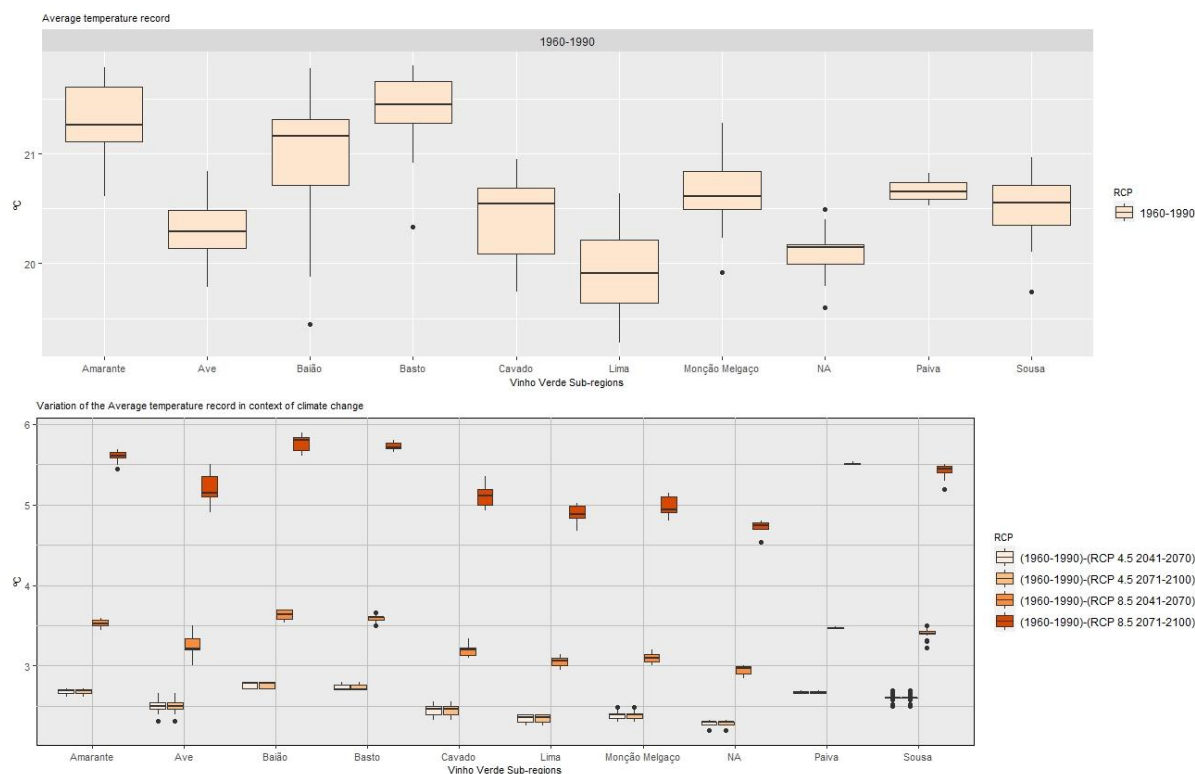


Figura 4.11. Caracterização/Evolução da temperatura média no período mais quente (ATWM) por sub-região da Região Demarcada dos Vinhos Verdes.

A ATHM, correspondente à temperatura média do mês de setembro, reflete o ambiente térmico durante a fase final de maturação e é determinante para a qualidade sensorial do vinho, nomeadamente a frescura, o teor alcoólico e a estrutura fenólica. No período de referência, os valores médios da ATHM oscilam entre 18,5 °C e 20,5 °C, sendo Baião, Amarante e Sousa as sub-regiões mais quentes, e Lima, Cávado e Monção e Melgaço as mais frescas.

Sob RCP 4.5 e, sobretudo, RCP 8.5, observam-se aumentos expressivos em todas as sub-regiões, com incrementos médios superiores a 3–4 °C. No cenário mais extremo (RCP 8.5, 2071–2100), Sousa, Baião, Ave e Paiva atingem valores superiores a 25 °C, situando-se em intervalos que historicamente estão associados a zonas de sobrematuração. Este aumento

compromete diretamente a acidez natural da uva e potencia a acumulação excessiva de açúcares, conduzindo a vinhos com elevado teor alcoólico e menor frescura. Além disso, a antecipação do pico de maturação poderá obrigar à antecipação das vindimas, com impacto na logística da colheita e na calendarização das operações enológicas.

Ambos os indicadores, ATWM e ATHM, reforçam a tendência de transição climática significativa da região, com uma crescente limitação à manutenção do perfil tradicional dos vinhos verdes, particularmente das castas mais sensíveis ao calor como Loureiro e Arinto. A resposta a este desafio poderá passar por ajustes varietais, realocação de vinhas para zonas de maior altitude, ou adaptação das técnicas vitivinícolas e enológicas com vista à preservação da tipicidade e qualidade dos vinhos produzidos na região (Figura 4.12).

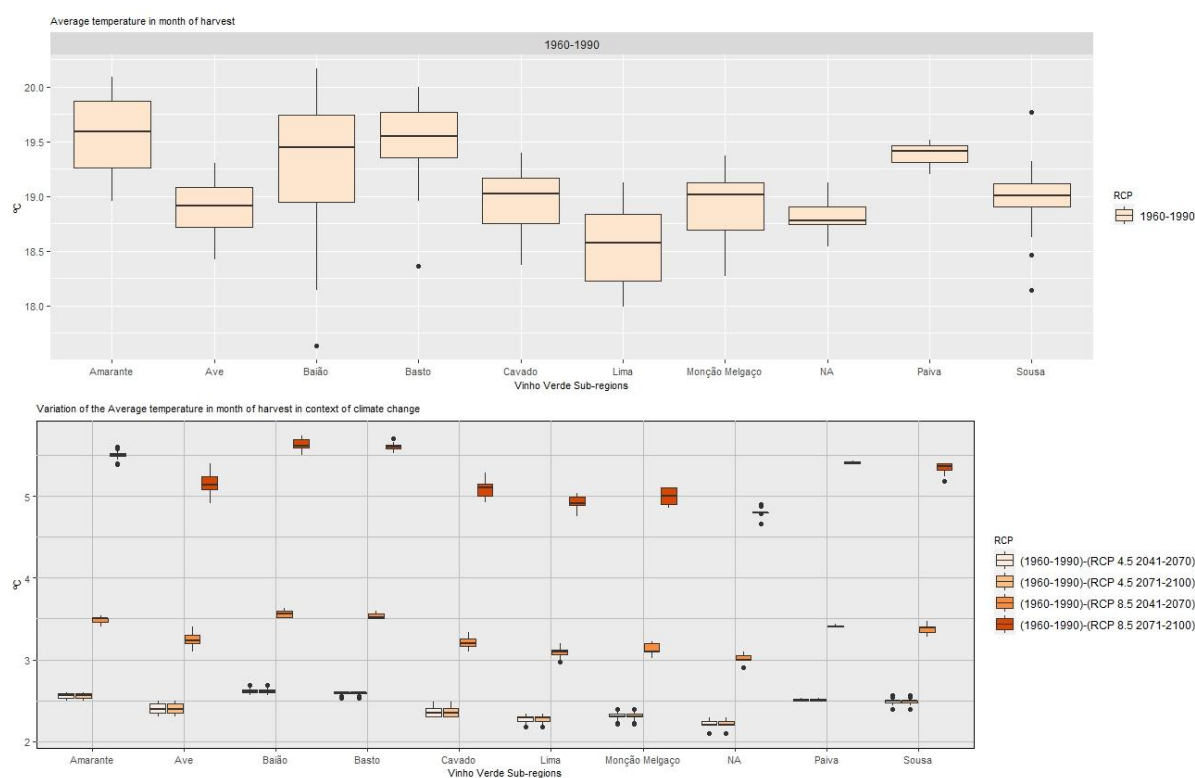


Figura 4.12. Caracterização/Evolução da temperatura média no mês de colheita (ATWM) por sub-região da Região Demarcada dos Vinhos Verdes.

A análise conjunta dos índices térmicos e heliotérmicos evidencia uma tendência clara e consistente de aquecimento progressivo em toda a Região Demarcada dos Vinhos Verdes, com implicações diretas na aptidão vitivinícola, na tipicidade dos vinhos e nas estratégias de adaptação da produção.

Os três principais índices de acumulação térmica — Winkler, Huglin e Branas — revelam uma intensificação dos somatórios térmicos em todas as sub-regiões, com valores projetados significativamente mais elevados sob os cenários RCP 4.5 e RCP 8.5. Esta intensificação afasta progressivamente grande parte do território das classes frescas ou temperadas (associadas à produção de vinhos brancos leves e aromáticos) e aproxima-o de zonas tradicionalmente mediterrânicas, com castas de ciclo mais longo e maior exigência térmica.

Este padrão é particularmente evidente nos índices Winkler e Huglin, nos quais se verifica que, no cenário mais severo (RCP 8.5 – 2071–2100), praticamente todas as sub-regiões se enquadram nas classes IV e V. Sub-regiões anteriormente caracterizadas como frescas, como Lima, Ave e Sousa, revelam incrementos absolutos superiores a 1000 °C.d no WI, tornando-se comparáveis, em termos térmicos, a regiões vitivinícolas do sul. Esta mudança de classe implica transformações profundas na fisiologia da vinha, no seu comportamento fenológico e na qualidade do produto final.

Os valores elevados do índice Huglin (IH) reforçam esta tendência, evidenciando não apenas uma subida térmica, mas também uma homogeneização regional, com redução da variabilidade intra-sub-regional. Este fenómeno pode traduzir-se numa perda de diversidade microclimática, um dos principais trunfos da vitivinicultura do Noroeste de Portugal. A convergência das sub-regiões para valores superiores a 2700–3000 °C (muito quente / demasiado quente) acentua os riscos de sobrematuração, redução da acidez e perda de identidade aromática, especialmente nas castas mais sensíveis como Loureiro, Arinto e Trajadura.

Apesar de seguir um padrão semelhante, o índice heliotérmico de Branas (BHI) mostra-se mais conservador devido à integração da radiação solar na sua formulação. Ainda assim, observa-se a superação do limiar de 6,0 °C·h em várias sub-regiões sob RCP 8.5, incluindo Sousa, Paiva e Baião, consolidando a aptidão destas zonas para a vitivinicultura de elevada exigência térmica.

O índice de frescura das noites (IFN) e as temperaturas médias mensais (ATWM e ATHM) trazem nuances importantes à análise. Estes indicadores mostram que, para além do aumento das temperaturas máximas, há também uma elevação significativa das temperaturas mínimas, especialmente nas sub-regiões de Sousa, Amarante e Paiva, onde os valores médios noturnos se aproximam ou ultrapassam os 17 °C. Tal evolução compromete o desenvolvimento de compostos aromáticos e fenólicos, fundamentais para vinhos equilibrados e frescos. A

maturação é acelerada, e a janela de vindima é encurtada, exigindo intervenções técnicas mais rigorosas.

O índice bioclimático de Hidalgo (IBC) e o índice de stress térmico (HSI) reforçam o alerta sobre os riscos agronómicos associados ao aquecimento. O IBC, ao incorporar precipitação e temperatura, evidencia a combinação potencialmente desequilibrada entre calor e disponibilidade hídrica, enquanto o HSI aponta para valores críticos superiores a 32–34 °C nas sub-regiões mais quentes, sobretudo Sousa, Baião e Amarante, o que pode levar à desidratação dos bagos, escaldão e redução do rendimento. As temperaturas médias em julho (ATWM) e em setembro (ATHM) confirmam que o aquecimento não se limita ao pico do verão, mas prolonga-se até à vindima, afetando a fase mais sensível da maturação. O facto de sub-regiões como Baião, Sousa e Ave atingirem $ATHM > 25\text{ °C}$ sob RCP 8.5 é particularmente preocupante, pois compromete diretamente o equilíbrio entre açúcar e acidez e obriga à antecipação da colheita, reduzindo a flexibilidade do viticultor.

4.2.2. Índices hidrotérmicos

Os índices hídricos e hidrotérmicos considerados resultam de variáveis climáticas diretamente relacionadas com a disponibilidade hídrica, ou da interação entre temperatura e precipitação, o que os torna particularmente sensíveis em contextos de alterações climáticas. Estes indicadores são fundamentais para a compreensão do equilíbrio hídrico da vinha, da pressão fitossanitária e da resiliência produtiva em cada sub-região da Região dos Vinhos Verdes. Apesar de diferenças metodológicas entre os índices utilizados — nomeadamente o índice hidrotérmico de Branas, Bernon e Lavadoux (BBLI), o índice hidrotérmico de Selianinov (k), a evapotranspiração potencial (ETP) e a precipitação acumulada nos meses de agosto e setembro (PP0809) — observa-se entre eles um padrão espacial coerente.

Durante o período de referência, a região evidencia um regime hídrico suficiente a normal. Os maiores volumes de precipitação concentram-se na metade norte e nas sub-regiões com maior altitude (ex.: Monção e Melgaço, Lima, Cávado e Basto), sendo visível um gradiente de decréscimo em direção ao sul e às zonas mais interiores, nomeadamente Paiva, Sousa, Baião e Amarante. Esta tendência é igualmente confirmada pelas cartas da precipitação acumulada em agosto e setembro (PP0809).

O índice hidrotérmico de Branas, Bernon e Lavadoux (BBLI) indica, no cenário atual, níveis de risco médio de contaminação fúngica, com ausência de zonas classificadas como “alto risco”

ou “muito alto risco”. Este facto resulta da conjugação de uma precipitação significativa com temperaturas moderadas durante o ciclo ativo da vinha, particularmente nos meses críticos entre abril e agosto. A análise sugere que, no contexto atual, a pressão de míldio e outras doenças fúngicas se encontra moderada, mas controlável com medidas agronómicas adequadas. O índice de Selianinov (k), que avalia a relação entre precipitação e temperatura ativa, classifica a generalidade da região como tendo regime hídrico normal a excessivo, sendo as zonas com “excesso hídrico” predominantemente associadas às áreas de maior altitude e influência atlântica direta. Apenas algumas zonas do interior sul (ex.: Sousa e Paiva) se aproximam do limiar inferior do regime normal (Figura 4.13). A evapotranspiração potencial (ETP), estimada pelo método de Hargreaves-Samani, apresenta valores entre 650 e 850 mm/ano, com os valores mais baixos a ocorrerem nas sub-regiões mais frescas (ex.: Lima, Monção e Melgaço) e os mais elevados nas sub-regiões interiores a sul (Sousa, Baião, Paiva), coincidindo com as zonas de maior acumulação térmica (Figura 4.14).

As projeções climáticas para os cenários RCP 4.5 e RCP 8.5 revelam alterações significativas na disponibilidade hídrica regional, traduzidas num desequilíbrio crescente entre a oferta de água (precipitação) e a evapotranspiração da cultura. Estas alterações manifestam-se de forma diferenciada entre os índices, mas convergem para um diagnóstico comum: agravamento do défice hídrico nas sub-regiões mais quentes e interiores.

O BBLI mantém-se maioritariamente estável nos cenários RCP 4.5, com a região ainda classificada como de risco médio. No entanto, sob o cenário RCP 8.5 (2071–2100), observa-se o aparecimento de zonas com “alto risco de contaminação”, sobretudo no litoral e em zonas com precipitação residual ainda presente (ex.: Lima, Cávado e parte de Ave). Isto resulta de um aumento da temperatura sem redução proporcional da precipitação, o que intensifica a humidade relativa e a pressão fúngica. O índice hidrotérmico de Selianinov revela alterações mais drásticas. Sob RCP 4.5, a região mantém predominantemente um regime normal. Contudo, no cenário RCP 8.5, observa-se uma expansão rápida das zonas classificadas com “regime hídrico insuficiente”, abrangendo grande parte das sub-regiões de Paiva, Sousa, Baião, Amarante e parte de Ave. A presença de zonas com “excesso hídrico” torna-se residual, indicando uma inversão completa da disponibilidade hídrica regional (Figura 4.13).

A evapotranspiração potencial (ETP) apresenta um aumento generalizado e significativo. Os valores médios ultrapassam 1000 mm/ano sob RCP 8.5 no horizonte 2071–2100 em várias sub-regiões do interior sul. Esta subida reflete o aumento da demanda hídrica da vinha, não

acompanhado por uma reposição equivalente via precipitação, agravando o risco de stress hídrico prolongado, com implicações ao nível da produtividade, qualidade das uvas e eficiência fotossintética. A precipitação acumulada em agosto e setembro (PP0809) evidencia uma redução ligeira a moderada nos cenários futuros, mas mais importante que a redução absoluta é a mudança na sua distribuição espacial e no seu impacto. A precipitação residual nestes meses, combinada com temperaturas elevadas, poderá potenciar doenças fúngicas, sobretudo em regiões como Lima e Cávado, mesmo com menor volume de chuva (Figura 4.14).

A análise integrada dos índices hídricos e hidrotérmicos demonstra que a Região dos Vinhos Verdes deverá enfrentar um cenário crescente de stress hídrico, especialmente sob o cenário RCP 8.5. As sub-regiões interiores a Sul (Paiva, Sousa, Baião e Amarante) são as mais vulneráveis, com elevados valores de evapotranspiração, redução da precipitação eficaz, e transição clara para regimes hídricos insuficientes. Estas alterações terão impactos significativos na fenologia da vinha, podendo antecipar os estádios fenológicos, diminuir o rendimento e comprometer a qualidade enológica. O risco de escassez hídrica em momentos críticos, como o pintor e a maturação, poderá obrigar à adoção de estratégias de mitigação, nomeadamente:

- i. Reforço da cobertura vegetal e técnicas de conservação de solo;
- ii. Introdução de castas mais tolerantes à seca;
- iii. Reestruturação da localização das vinhas, priorizando altitudes elevadas e exposições mais favoráveis;
- iv. Recurso a sistemas de rega localizada eficiente, em casos críticos.

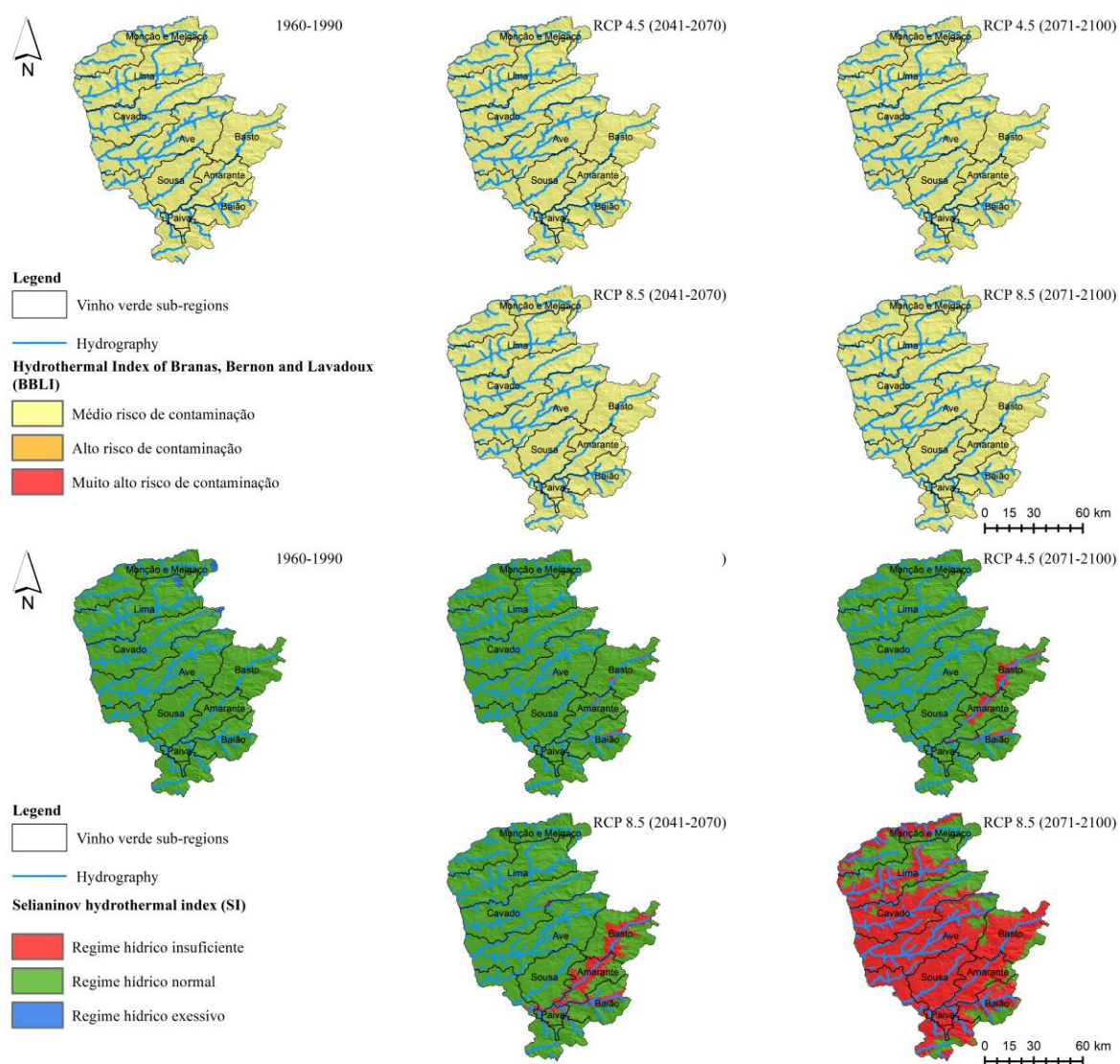


Figura 4.13. Distribuição espacial e evolução em contexto de alterações climáticas do índice hidrotérmico de Branas, Bernon e Lavadoux (BBLI) e Hidrotérmico de Selianinov (k) para a Região Demarcada dos Vinhos Verdes.

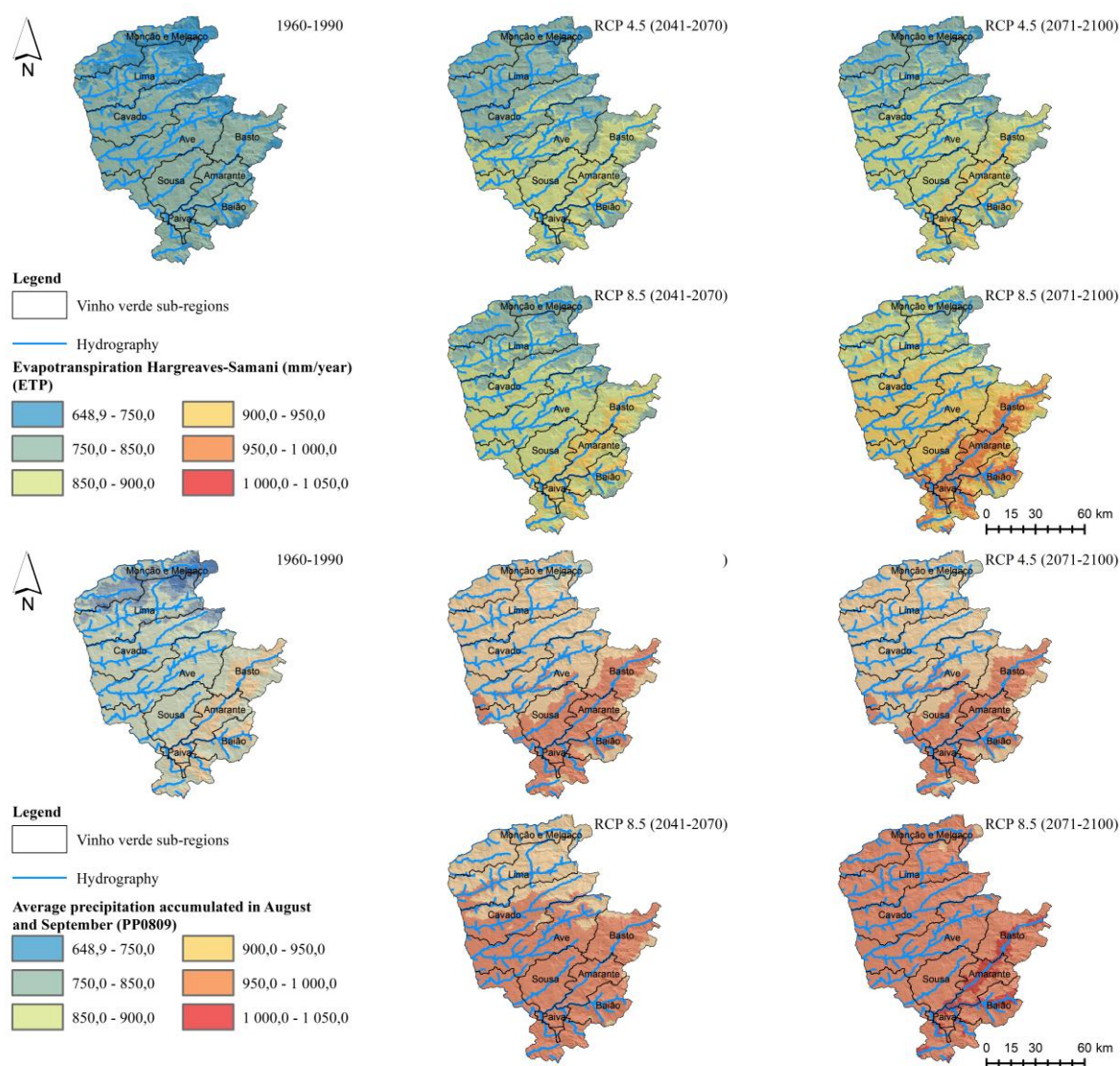


Figura 4.14. Distribuição espacial e evolução em contexto de alterações climáticas da evapotranspiração de referência pelo método de Hargreaves-Samani (ET₀) e Precipitação acumulada no período de colheita (PP0809) para a Região Demarcada dos Vinhos Verdes.

4.2.2.1. Caracterização/Evolução dos índices hidrotérmicos por sub-região

A análise comparativa dos índices hídricos e hidrotérmicos por sub-região da Região Demarcada dos Vinhos Verdes permite identificar os gradientes espaciais de disponibilidade hídrica e antecipar os impactos diferenciados da alteração climática sobre o balanço hídrico da cultura da vinha. Permitem avaliar não apenas as tendências médias, mas também a variabilidade intra-regional e os cenários extremos, relevantes para o planeamento agrónómico.

Durante o período de referência (1960–1990), os valores do BBLI oscilam entre 3900 e 4750 °C·mm, com Monção e Melgaço, Lima e Cávado a apresentar os valores mais elevados, o que indica maior disponibilidade de água combinada com temperatura média favorável. As sub-regiões mais secas e interiores, como Sousa, Paiva e Amarante, exibem os valores mais baixos, sugerindo já nesse período uma menor acumulação hídrica útil para a vinha.

As variações observadas nos cenários RCP 4.5 e 8.5 são negativas em todas as sub-regiões, com reduções médias que ultrapassam os 600–800 °C·mm e atingem, nalguns casos, valores superiores a -1000 °C·mm no cenário RCP 8.5 (2071–2100), particularmente em Baião, Basto e Ave. Estes decréscimos refletem a conjugação de precipitação reduzida com aumento de temperatura, o que poderá comprometer a produtividade e qualidade das uvas, exigindo uma maior eficiência hídrica na gestão da vinha (Figura 4.15).

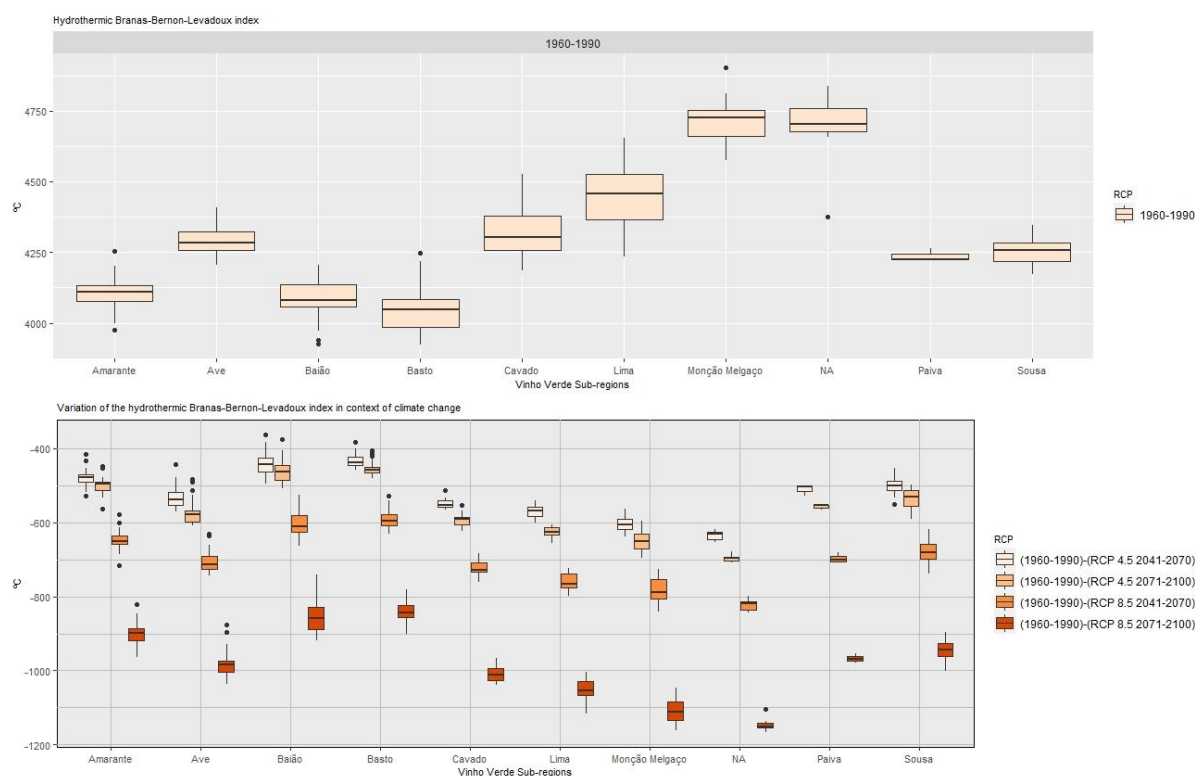


Figura 4.15. Caracterização/Evolução do índice hidrotérmico de Branas Bernon e Lavadoux (BBLI) por sub-região da Região Demarcada dos Vinhos Verdes.

O índice de hidrotérmico de Selianinov, que exprime a relação entre precipitação e temperatura ativa, apresenta no período de referência valores entre 0,9 e 1,3 mm/°C, correspondendo genericamente a um regime hídrico normal. As sub-regiões mais favoráveis hidricamente são

Lima, Cávado e Monção e Melgaço, ao passo que Paiva, Sousa e Amarante já evidenciam um limiar inferior, mais próximo da insuficiência hídrica.

Nos cenários futuros, observa-se uma redução progressiva e acentuada dos valores de k, com decréscimos médios entre -0,1 e -0,3 mm/°C, sendo o cenário RCP 8.5 (2071–2100) o mais crítico. Sub-regiões como Baião, Ave, Sousa e Paiva atingem valores próximos ou abaixo de 0,8, indicando claramente um regime hídrico insuficiente. Esta descida ameaça diretamente a capacidade de suporte hídrico da vinha durante o ciclo vegetativo, com especial incidência em anos de precipitação abaixo da média (Figura 4.16).

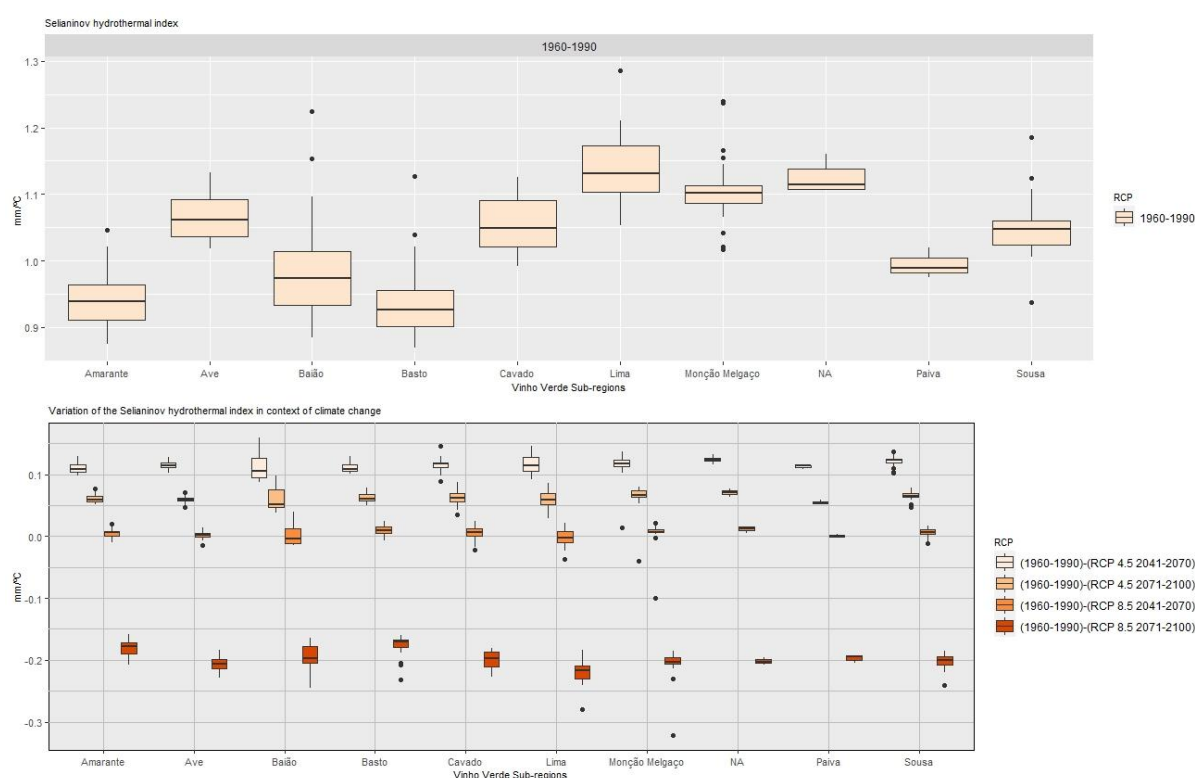


Figura 4.16. Caracterização/Evolução do índice hidrotérmico de Selianinov (HIS) por sub-região da Região Demarcada dos Vinhos Verdes.

Os valores de evapotranspiração estimados pelo método de Hargreaves-Samani situam-se entre 850 e 1000 mm/ano no período de referência, sendo mais elevados em Amarante, Baião, Basto e Sousa. Este padrão está alinhado com as zonas de maior acumulação térmica e menor precipitação, revelando um potencial de perdas hídricas elevadas por evapotranspiração nessas sub-regiões.

Com o aumento das temperaturas projetadas em contexto de alterações climáticas, verifica-se uma elevação marcada dos valores da ETP, particularmente em Amarante, Sousa, Baião e

Paiva, onde os acréscimos atingem até 180 mm/ano no cenário RCP 8.5 (2071–2100). Este aumento intensifica o desequilíbrio hídrico, agravando a necessidade de estratégias de mitigação como a rega localizada, cobertura vegetal e adaptação do material vegetal às novas condições climáticas (Figura 4.17).

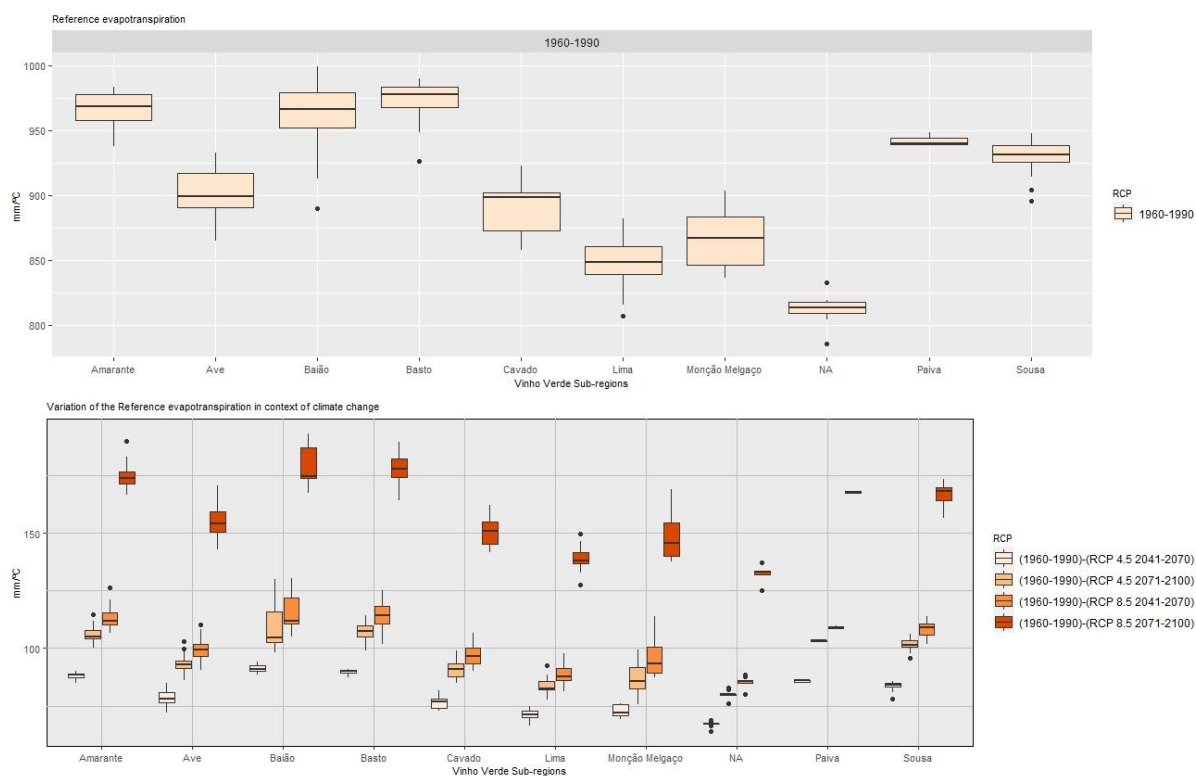


Figura 4.17. Caracterização/Evolução da Evapotranspiração de referência pelo método de Hargreaves-Samani (ETP) por sub-região da Região Demarcada dos Vinhos Verdes.

No período de 1960–1990, os valores de precipitação acumulada nos meses de colheita variam entre 73 e 101 mm, sendo Lima, Cávado e Monção e Melgaço as sub-regiões mais húmidas neste período, e Amarante, Baião e Paiva as mais secas. Esta precipitação é determinante para a sanidade do fruto na fase final de maturação, influenciando o risco de podridões e a eficiência da vindima.

Nos cenários futuros, verifica-se uma redução generalizada da precipitação em todas as sub-regiões, com decréscimos médios de 20–40 mm, mais acentuados em Ave, Baião, Sousa e Amarante. Estes valores, embora menos expressivos que noutros índices, são relevantes por ocorrerem num período crítico, podendo comprometer a hidratação da planta no fim do ciclo e potenciar a necessidade de antecipação da vindima. Paradoxalmente, mesmo valores moderados de precipitação nestes meses, quando associados a temperaturas elevadas, podem

aumentar a pressão fúngica, especialmente em sub-regiões do litoral como Lima e Cávado (Figura 4.18).

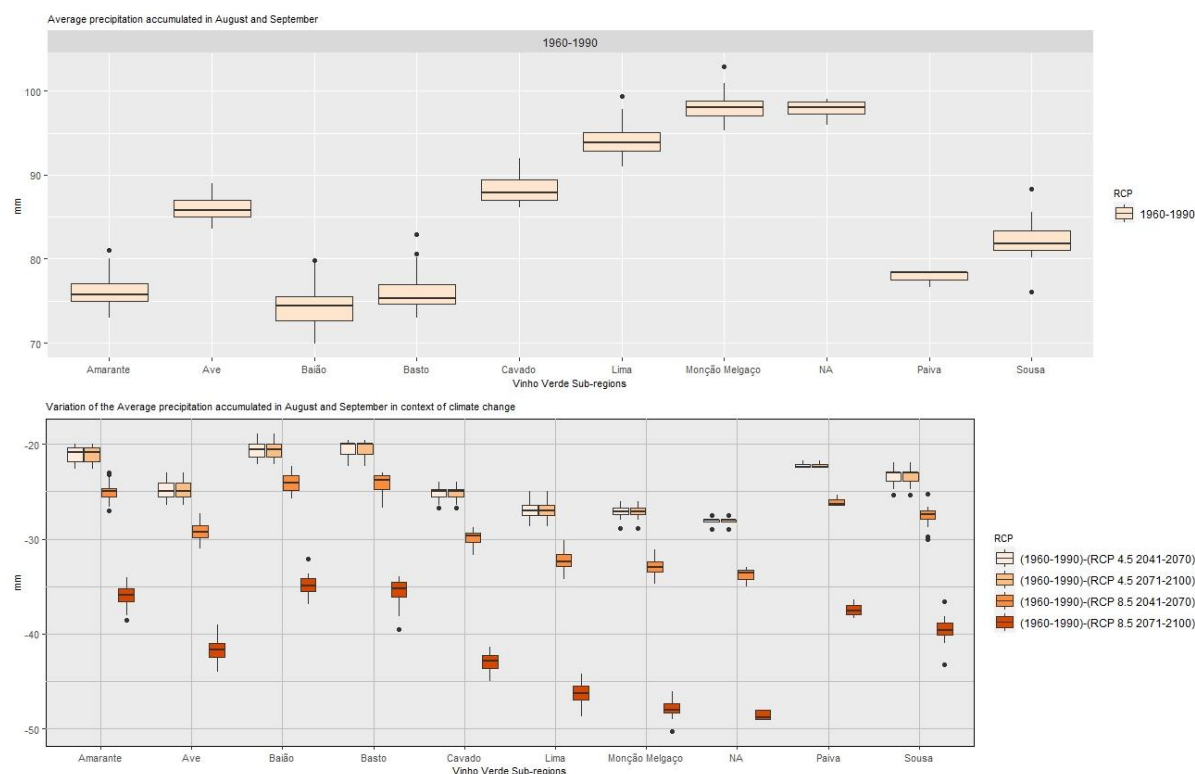


Figura 4.18. Caracterização/Evolução da precipitação média acumulada em agosto e setembro (ETP) por sub-região da Região Demarcada dos Vinhos Verdes.

A integração dos diferentes índices hídricos e hidrotérmicos permite uma leitura holística do balanço hídrico climático da Região Demarcada dos Vinhos Verdes, tanto no presente como nas projeções futuras. Os resultados apontam para uma alteração profunda das dinâmicas hidrotérmicas, com implicações agrónomicas diretas sobre a vitivinicultura regional. Apesar de cada índice apresentar uma abordagem distinta — seja pela natureza do cálculo (como a razão entre precipitação e temperatura no HIS), seja pelo enfoque na evapotranspiração (ETP) ou no risco sanitário (BBLI) —, os quatro convergem na identificação de um cenário de crescente défice hídrico e stress climático, sobretudo sob os cenários RCP 8.5 (2071–2100).

No período de referência (1960–1990), os índices revelam uma situação de relativo equilíbrio hídrico:

- i. O BBLI não identifica risco fúngico elevado, sugerindo uma conjugação equilibrada de precipitação e temperatura entre abril e agosto;

- ii. O SI posiciona a maioria das sub-regiões num regime hídrico normal, com valores entre 0,9 e 1,2 mm/°C;
- iii. A ETP encontra-se entre 850 e 1000 mm/ano, com valores mais elevados no sul e interior;
- iv. A PP0809 ronda os 80–100 mm, suficiente para manter a sanidade da vinha sem promover infeções excessivas no final do ciclo.

Este cenário é consistente com a prática tradicional da região, onde a vitivinicultura não depende de rega e beneficia de precipitações relativamente distribuídas. Contudo, já se observam sinais de vulnerabilidade nas sub-regiões interiores e meridionais, como Paiva, Sousa, Baião e Amarante, que se encontram nos limiares da suficiência hídrica, tanto no SI como na ETP.

À medida que se avançam nos cenários climáticos (especialmente RCP 8.5 para 2071–2100), a convergência dos quatro índices revela uma mudança sistémica na relação entre temperatura, precipitação e disponibilidade hídrica:

- i. O BBLI apresenta reduções superiores a 1000 °C·mm, implicando menor acumulação de energia útil à planta, mas com efeitos agronómicos mais severos sobre o risco de infeção e metabolismo secundário da vinha;
- ii. O SI regista quebras de até 0,3 mm/°C, com várias sub-regiões a transitar para um regime hídrico insuficiente, sobretudo Sousa, Paiva, Baião, Amarante e parte de Ave;
- iii. A ETP sofre aumentos consistentes de 120 a 180 mm/ano, indicando maior exigência hídrica por parte da planta e maior evaporação do solo, em especial no interior sul;
- iv. A PP0809, apesar de uma redução menos acentuada em termos absolutos, sofre um decréscimo médio de 20–40 mm, precisamente durante os meses críticos da colheita, agravando o risco de desidratação de bagos e queda de qualidade enológica.

Estes efeitos são espacialmente assimétricos: enquanto as sub-regiões do Norte e litoral (como Lima e Monção e Melgaço) mantêm uma resiliência relativa, as sub-regiões do interior Sul (ex.: Paiva, Sousa, Baião) concentram o maior stress hídrico projetado, cruzando valores críticos em todos os quatro índices. A convergência dos índices analisados indica que grande parte da região entrará, no médio a longo prazo, numa zona de risco climático crescente. As principais implicações agronómicas incluem:

- i. Diminuição da produtividade: devido a menor disponibilidade de água no solo e maior evapotranspiração;
- ii. Redução da acidez e aumento do teor alcoólico: por maturações mais rápidas e descompensadas;
- iii. Maior frequência de stress hídrico severo: com impactos na fenologia e estrutura do bago;
- iv. Variações no perfil sensorial dos vinhos: com perda de frescura e tipicidade, especialmente em castas brancas mais sensíveis.

Para uma correta adaptação a região revela uma maior dependência de práticas de mitigação, como:

- i. gestão eficiente do solo e da copa;
- ii. técnicas de conservação de humidade;
- iii. escolha de castas mais tolerantes à seca;
- iv. eventual introdução de sistemas de rega em áreas críticas.

A análise integrada dos índices hídricos e hidrotérmicos evidencia que a sustentabilidade da vitivinicultura na Região Demarcada dos Vinhos Verdes dependerá de intervenções estratégicas de adaptação climática, com base em dados científicos robustos. A identificação precoce das sub-regiões mais vulneráveis é crucial para orientar políticas públicas, investimentos setoriais e decisões técnicas a nível parcelar.

4.3. Análise de Componentes Principais (PCA)

A análise da matriz de correlação de Pearson para o período de referência (1960–1990) permite compreender as interdependências entre os diferentes índices bioclimáticos utilizados na caracterização agroclimática da Região Demarcada dos Vinhos Verdes. Observa-se uma estrutura altamente coesa, com correlações muito elevadas ($|r| > 0,8$) a predominarem, sobretudo dentro dos blocos temáticos térmicos/heliotérmicos e hídricos/hidrotérmicos (Figura 4.19).

- i. O Índice de Winkler (WI) e o Índice de Huglin (IH) apresentam correlações muito elevadas com o IBC, ATWM e ATHM ($r > 0,96$), demonstrando que estes índices partilham fortemente a componente térmica acumulada ao longo do ciclo vegetativo;

- ii. A Temperatura Média de Julho (ATWM), como indicador de calor acumulado no pico do verão, está fortemente correlacionada com IH ($r = 0,93$), IBC ($r = 0,91$), WI ($r = 0,88$), HI ($r = 0,99$) e ATHM ($r = 0,95$), sublinhando o seu papel central na construção dos índices heliotérmicos;
- iii. A Temperatura Média de Setembro (ATHM) exibe correlações muito elevadas com IBC ($r = 0,96$), IH ($r = 0,99$), HI ($r = 0,97$) e ATHM ($r = 1,00$), o que reforça o seu contributo na fase final de maturação da uva e a sua integração em índices compostos.
- iv. O Índice Bioclimático de Hidalgo (IBC) apresenta correlação superior a 0,90 com WI, IH, ATWM e ATHM, confirmando o seu carácter integrador de diversas dimensões térmicas;
- v. O Índice de Stress Térmico (HSI) apresenta correlações muito elevadas com a ETP ($r = 0,97$) e ATWM ($r = 0,91$), posicionando-se como o índice que melhor capta os efeitos da intensidade térmica e evapotranspiração nas fases mais críticas da vinha. A sua correlação negativa com o k ($r = -0,78$) e PP0809 ($r = -0,73$) revela a sua associação inversa com a disponibilidade hídrica;
- vi. O Índice de Registo de Geadas de Inverno (WFR) apresenta correlação forte com IFN ($r = 0,94$) e moderada com BBLI/P ($r = 0,44$), mas mostra correlações mais fracas com os restantes índices térmicos acumulativos, sublinhando a sua independência estatística e a sua capacidade de captar condições mínimas extremas — cruciais para o risco de geadas;
- vii. O Índice de Selianinov (k) mostra correlações inversas muito fortes com os índices térmicos: IH ($r = -0,97$), WI ($r = -0,93$), IBC ($r = -0,96$), ATWM ($r = -0,95$), ATHM ($r = -0,97$). Este padrão confirma o seu papel como melhor proxy do défice hídrico relativo, sendo particularmente útil para distinguir zonas com maior ou menor stress hídrico;
- viii. A precipitação acumulada nos meses finais do ciclo (PP0809) apresenta correlações negativas fortes com ETP ($r = -0,88$), WI ($r = -0,88$), IH ($r = -0,80$), ATWM ($r = -0,75$), e HSI ($r = -0,73$), evidenciando que a disponibilidade hídrica no fim do ciclo é inversamente proporcional à intensidade térmica;
- ix. O ETP, enquanto indicador de procura hídrica, apresenta correlações muito elevadas com os índices térmicos (ex.: $r = 0,88$ com ATWM, $r = 0,91$ com IH), confirmando que a evapotranspiração aumenta em ambientes mais quentes;

- x. O IFN (Índice de frescura noturna) tem correlação muito elevada com ATHM ($r = 0,94$), WI ($r = 0,91$) e HI ($r = 0,88$), reforçando a sua utilidade como indicador complementar da qualidade térmica noturna;
- xi. A correlação entre o BBLI/P (Índice hidrotérmico de Branas Bernon e Lavadoux) e os índices térmicos é geralmente baixa ou mesmo negativa (ex.: $r = -0,26$ com HSI, $r = -0,34$ com ETP), revelando pouca associação direta entre a precipitação e a intensidade térmica ou heliotérmica.

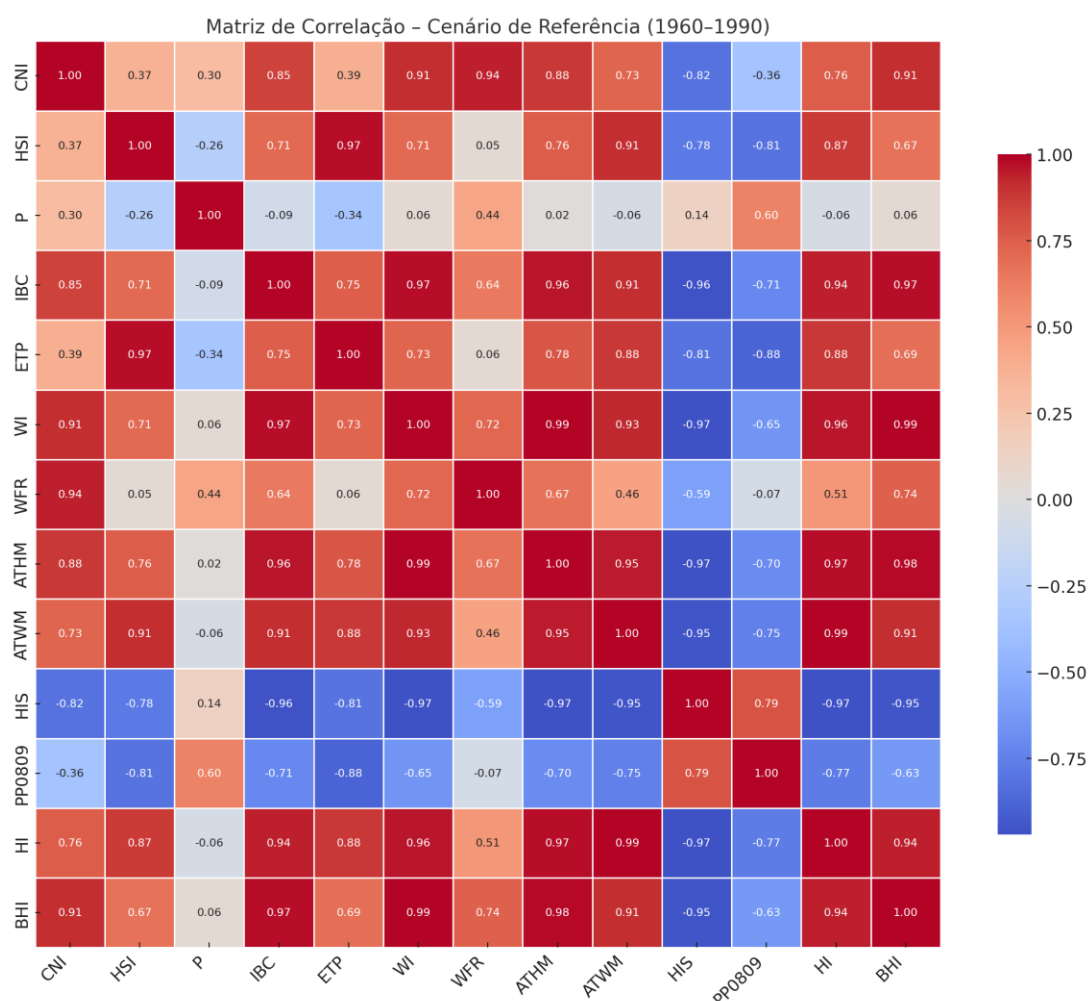


Figura 4.19. Matriz de Correlação (Cenário de Referência 1960–1990).

A evolução das correlações entre os índices bioclimáticos ao longo dos diferentes cenários climáticos revela alterações significativas na estrutura interna do sistema climático regional, com potenciais implicações para a vitivinicultura da Região Demarcada dos Vinhos Verdes. A análise comparativa das matrizes de correlação permite distinguir tendências de consolidação,

fragmentação ou inversão nas relações entre os índices, que refletem diferentes tipos de stress climático (Figura 4.20 a Figura 4.23).

Durante o período 2041–2070 sob o cenário RCP 4.5, observa-se ainda uma relativa estabilidade na estrutura de correlação. A maioria dos pares de índices mantém valores de correlação semelhantes aos do período de referência. No entanto, destacam-se algumas alterações relevantes:

- i. IFN e BBLI/P perdem totalmente a correlação ($r \approx 0,00$), sugerindo que a variabilidade térmica noturna se dissocia da precipitação residual;
- ii. ETP e k/HIS mantêm correlações inversas elevadas ($r \approx -0,77$), reforçando o papel da evapotranspiração como fator de intensificação de stress hídrico;
- iii. O BHI mantém correlações muito elevadas com os índices térmicos (WI, IH, ATWM), com $r > 0,9$, revelando uma ainda forte coerência entre temperatura acumulada e radiação solar neste horizonte.

Sob o mesmo cenário, mas no horizonte 2071–2100, começam a surgir sinais de dissociação estrutural entre variáveis, com anomalias de correlação mais expressivas:

- i. O WFR perde correlação com os restantes índices térmicos e hídricos, em especial com PP0809 (-0,28) e ATWM (-0,10), indicando maior autonomia do comportamento térmico invernal e sugerindo um aumento da amplitude térmica anual;
- ii. A precipitação acumulada no fim de ciclo (PP0809) reforça a correlação com IFN (+0,13) e BHI (+0,11), possivelmente refletindo o papel amortecedor da precipitação residual face ao stress térmico crescente;
- iii. ETP sofre reduções sistemáticas na sua correlação com quase todos os índices térmicos (reduções de até -0,24), exceto com BHI, indicando que a evapotranspiração se torna cada vez mais independente da temperatura média, refletindo extremos.

No cenário RCP 8.5 na projeção de 2050, apesar de ainda haver uma forte coerência entre muitos índices, começam a notar-se alterações estruturais:

- i. O índice IBC perde correlação com os índices térmicos como IH (-0,03), WI (-0,02) e ATWM (-0,01), sugerindo que a precipitação deixa de acompanhar a acumulação térmica;
- ii. O índice BBLI/P reforça a sua correlação com PP0809 (+0,40), IFN (+0,26) e BHI (+0,17), indicando maior sensibilidade à precipitação tardia no ciclo da vinha;

- iii. HSI, por sua vez, mantém correlação negativa forte com IH e ATWM ($r \approx -0,96$), confirmando o seu papel como indicador de défice hídrico.

Este cenário representa a fragmentação máxima da estrutura de correlação entre índices bioclimáticos. Observa-se:

- i. A correlação entre WFR e BBLI cai para valores muito baixos (-0,36), e com ATWM para -0,23, reforçando o enfraquecimento do vínculo entre frio invernal e clima do verão;
- ii. A PP0809 apresenta os maiores aumentos de correlação com índices térmicos e heliotérmicos: com IFN (+0,26), IBC (+0,13), HI (+0,14) e BHI (+0,14). Este comportamento reforça a ideia de que a precipitação residual poderá atenuar os efeitos das ondas de calor tardias;
- iii. A ETP mostra uma dissociação clara, com correlações muito fracas com WI ($r \approx 0,01$), IH (0,00) e até com ATWM (0,03), sinalizando que a procura hídrica da vinha tenderá a depender mais de extremos térmicos do que da temperatura média;
- iv. O índice BHI, por sua vez, revela uma quebra significativa nas correlações com WI, ATWM, ATHM e HI (reduções $> 0,24$), mantendo-se, contudo, moderadamente associado à ETP e BBLI/P. Esta transformação confirma o papel crescente da componente hídrica na explicação do stress térmico e sanitário.

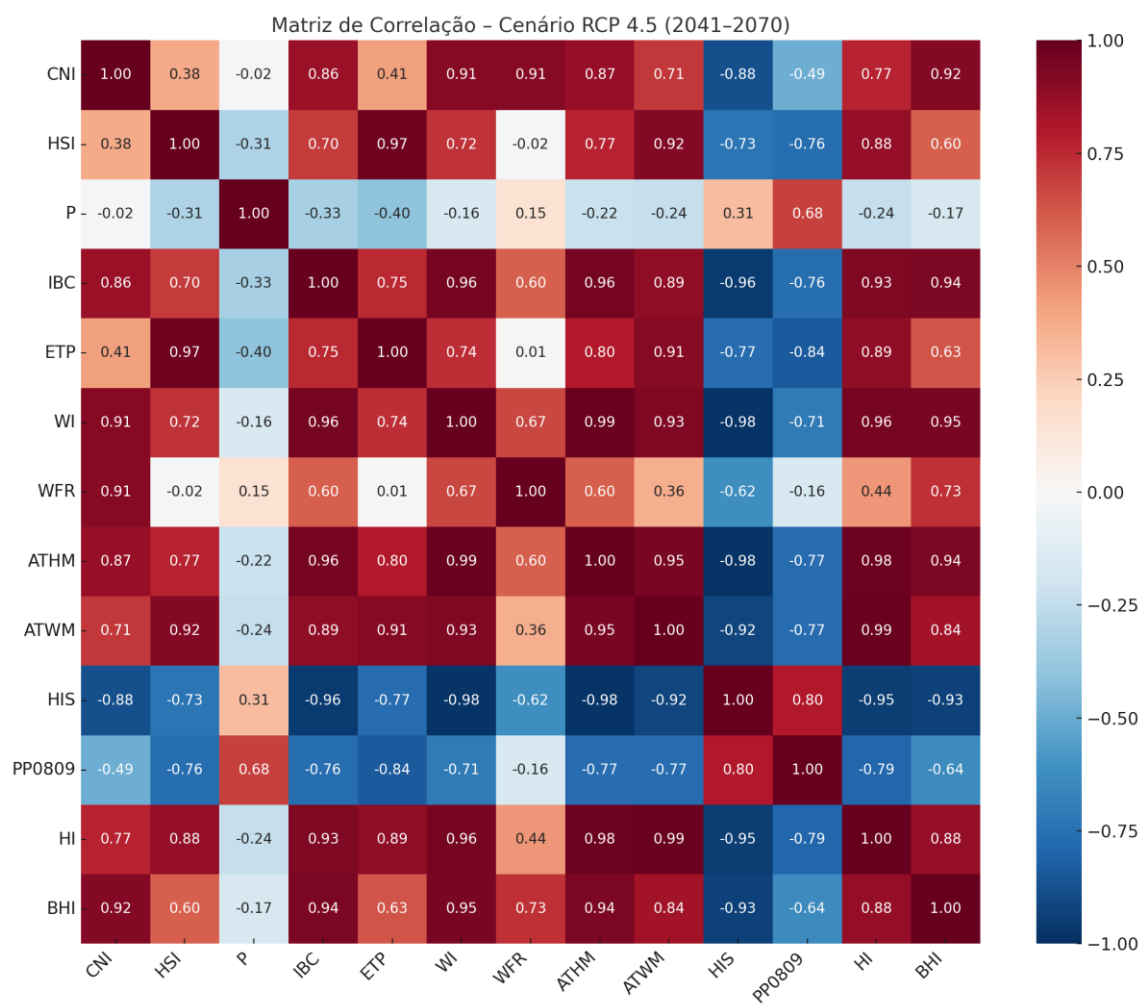


Figura 4.20. Matriz de Correlação (RCP 4.5 2041-2070).

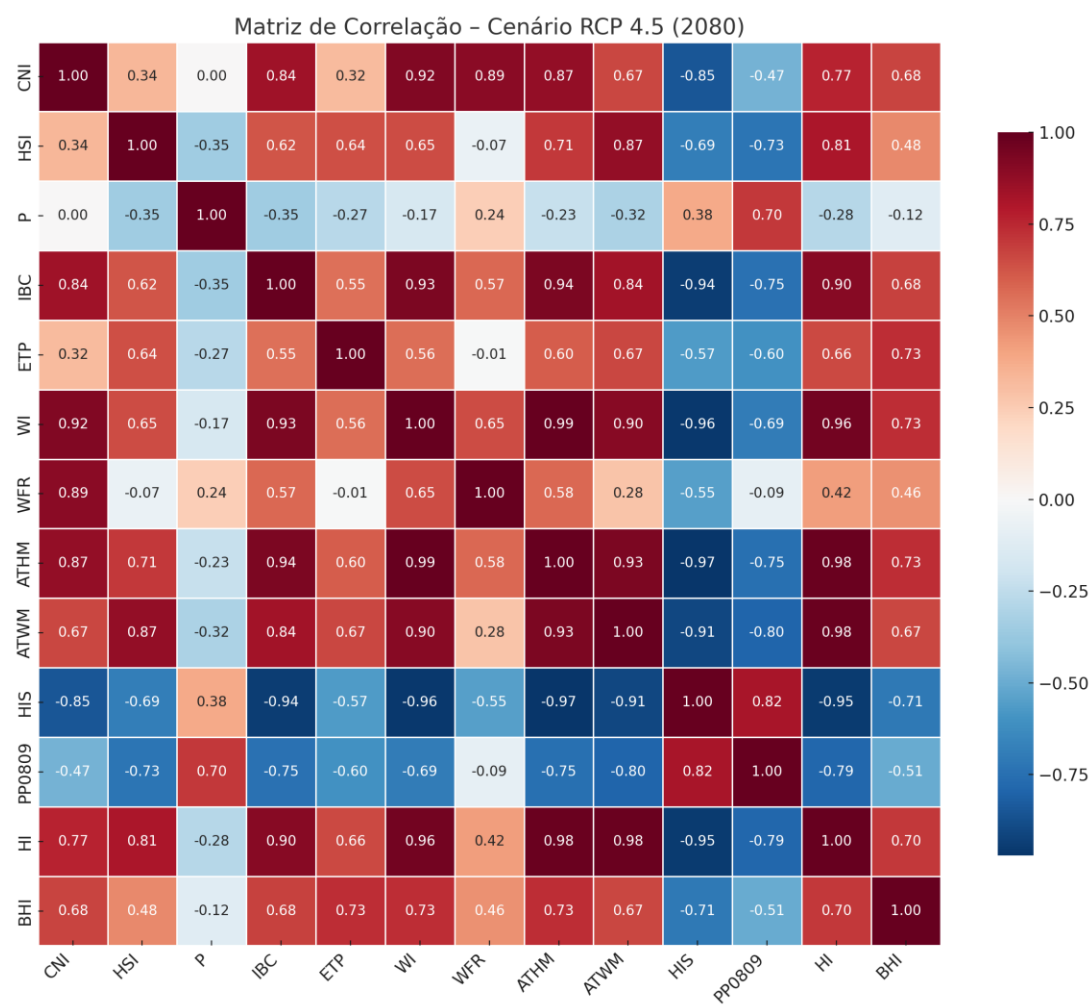


Figura 4.21. Matriz de Correlação (RCP 4.5 2071-2100).

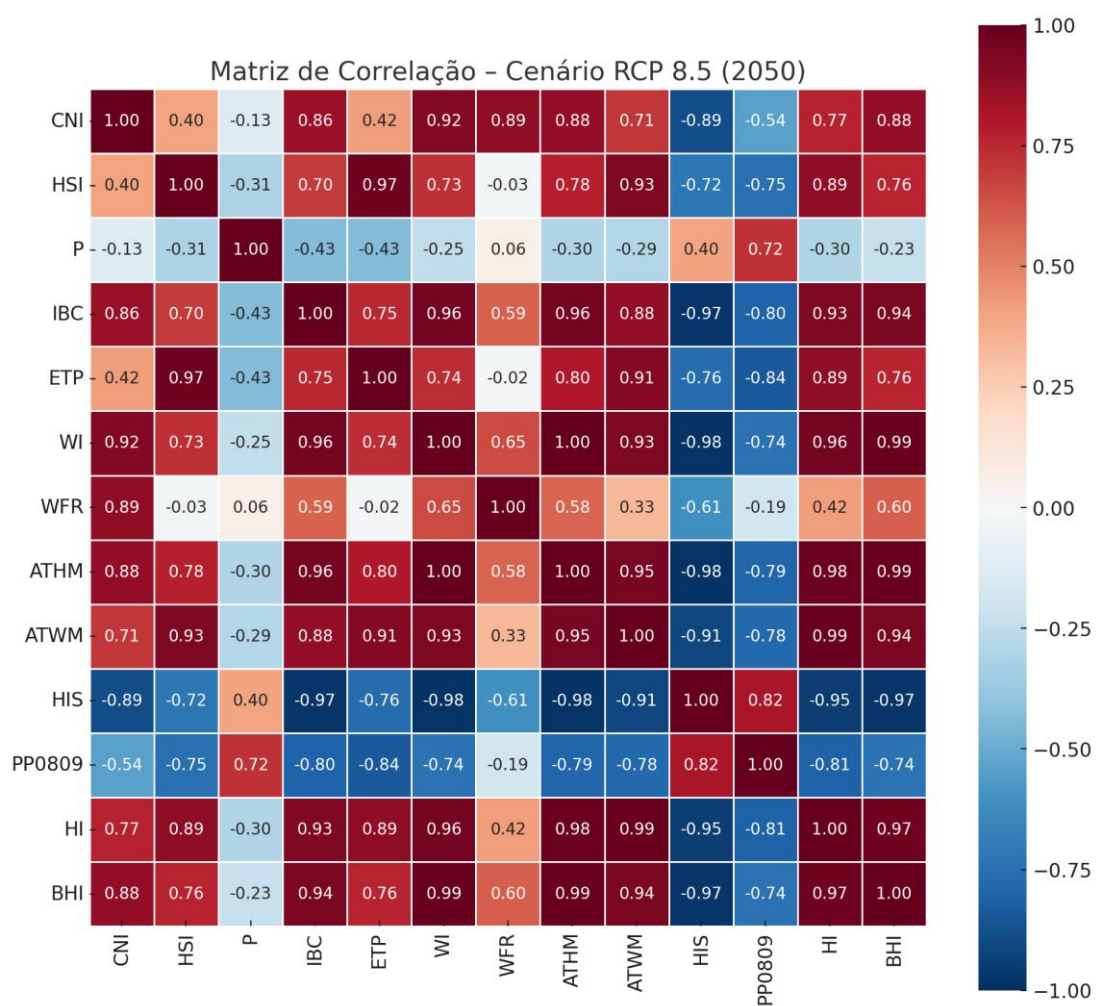


Figura 4.22. Matriz de Correlação (RCP 8.5 2041-2070).

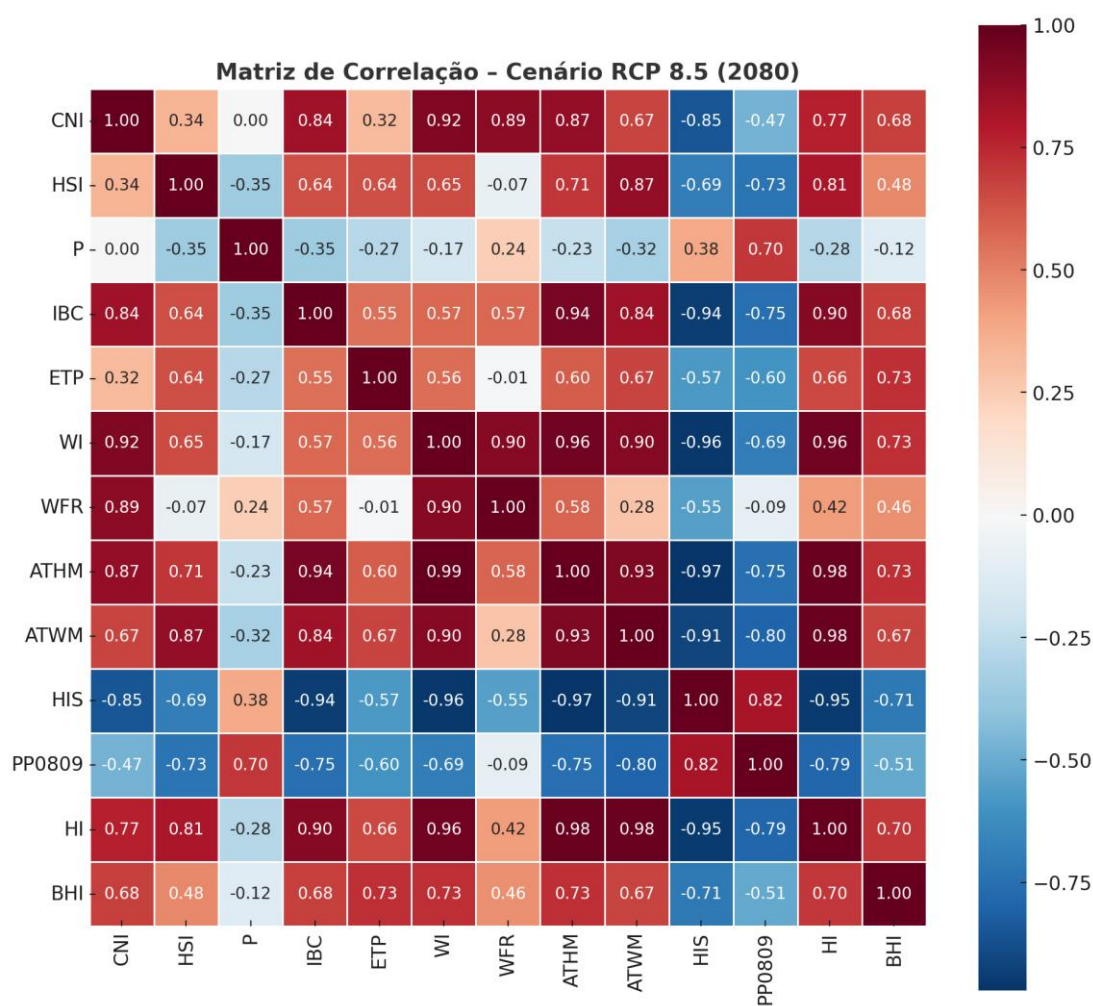


Figura 4.23. Matriz de Correlação (RCP 8.5 2071-2100).

A análise das anomalias de correlação permite aferir não apenas a intensidade das relações entre os índices bioclimáticos ao longo do tempo, mas também a forma como estas relações são alteradas em resposta a diferentes cenários de alterações climáticas. As anomalias foram calculadas como a diferença entre os coeficientes de correlação do cenário futuro e os do cenário de referência (1960–1990), revelando variações estruturais no comportamento conjunto dos indicadores em estudo (Figura 4.24 e Figura 4.25).

Apesar de o RCP 4.5 ser considerado um cenário de mitigação moderada, as anomalias revelam alterações sistemáticas na estrutura de correlações entre os índices:

- i. O IFN (frescura noturna) apresenta a maior anomalia negativa com o HSI (–0.30), sugerindo que a ligação entre noites frescas e stress térmico é fortemente reduzida, o

que pode indicar maior variabilidade térmica noturna ou uma menor incidência de noites frias mesmo sob stress térmico;

- ii. O índice WFR (geadas de inverno) mostra reduções generalizadas de correlação, com destaque para ATWM (-0.18) e PP0809 (-0.28). Tal reforça a dissociação crescente entre eventos de frio extremo e padrões de precipitação, podendo refletir mudanças no regime térmico interanual e menor influência do inverno na estrutura climática do ciclo vegetativo;
- iii. A PP0809 (precipitação nos meses finais do ciclo) destaca-se com anomalias positivas de correlação com vários índices térmicos e hídricos, incluindo o IFN ($+0.13$), ETP ($+0.21$) e IBC ($+0.26$). Isto sugere que, mesmo com uma possível redução absoluta da precipitação, os seus efeitos sobre o sistema bioclimático tornam-se mais relevantes ou mais acoplados a outros fatores ambientais;
- iv. A ETP e o HIS perdem correlação com quase todos os índices, em especial com WI, IH e BHI, o que pode traduzir uma dissociação crescente entre o balanço hídrico e os padrões térmicos médios, reforçando o papel de extremos e variações microclimáticas.

Sob o cenário RCP 8.5, de maior intensidade e ausência de mitigação, as anomalias são ainda mais pronunciadas, revelando um cenário de reconfiguração profunda das relações bioclimáticas:

- i. O índice BBLI/P mostra os maiores aumentos absolutos de correlação com vários índices, nomeadamente IBC ($+0.19$), PP0809 ($+0.26$), HI ($+0.33$) e BHI ($+0.29$). Isto contrasta com o cenário de referência, onde era apenas moderadamente correlacionada com alguns índices, sugerindo que a precipitação passa a desempenhar um papel mais determinante no balanço bioclimático em condições extremas de temperatura;
- ii. O IBC vê a sua correlação com PP0809 aumentar em $+0.46$, e com P em $+0.19$, mostrando uma maior dependência da componente hídrica na definição do índice, tradicionalmente mais térmico. Este resultado pode refletir um reajuste na sensibilidade do sistema ao excesso hídrico tardio e à variabilidade da precipitação;
- iii. O índice WFR perde significativamente correlação com BBLI (-0.36) e ATWM (-0.23), reforçando o afastamento entre fenómenos de frio invernal e os regimes térmicos médios,

- iv. O HIS perde coerência com os índices térmicos (anomalias negativas com WI, IH, ATWM), indicando um aumento do desequilíbrio hídrico relativo em função do calor extremo e do decréscimo da precipitação eficaz.

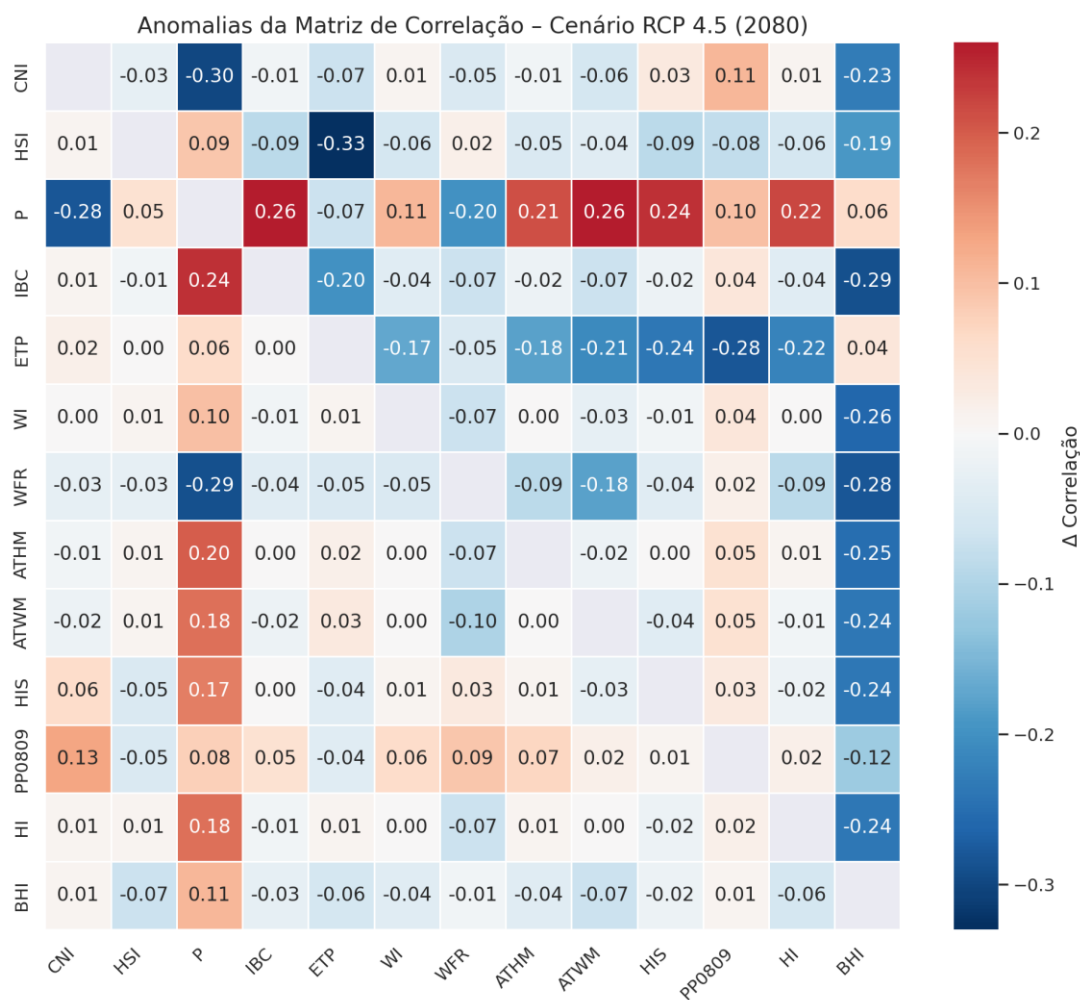


Figura 4.24. Anomalias da Matriz de Correlação entre Índices Bioclimáticos – Cenário RCP 4.5 (2080).

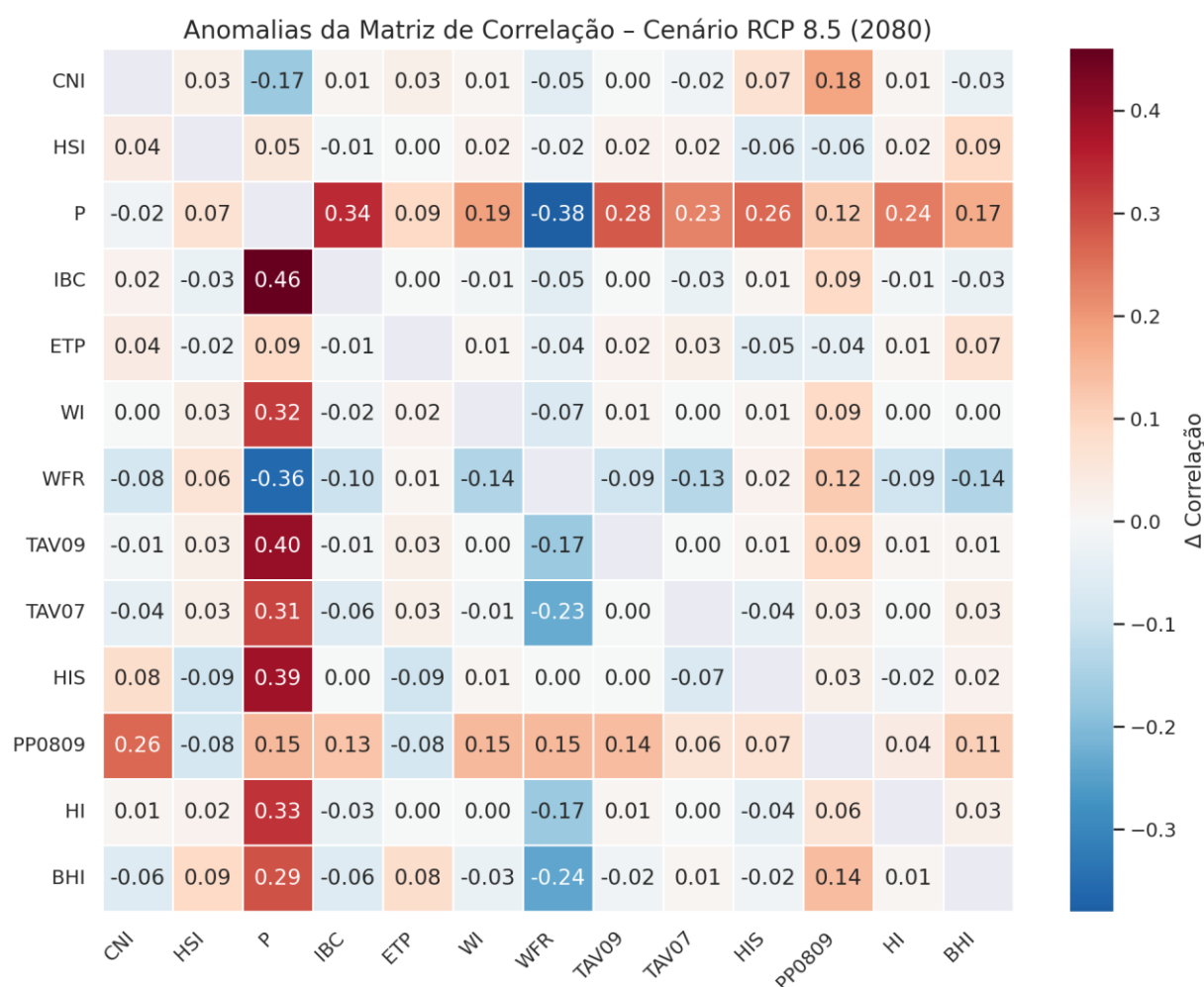


Figura 4.25. Anomalias da Matriz de Correlação entre Índices Bioclimáticos – Cenário RCP 8.5 (2080).

A análise comparativa das anomalias de correlação por índice bioclimático permite identificar quais os indicadores cuja relação com os restantes variou mais ao longo do tempo e entre cenários:

- A variável BBLI/P evidencia a maior variabilidade de correlação entre os cenários, com anomalias positivas acentuadas sob RCP 8.5, sugerindo um reposicionamento do papel da precipitação na estrutura bioclimática regional.
- O WFR, ETP e HIS apresentam anomalias negativas consistentes nos dois cenários, revelando uma perda de coerência relacional com os restantes índices. Isso reforça a ideia de que estes índices captam componentes do sistema climático mais instáveis ou com comportamento mais autónomo.

- iii. O IBC, HI e BHI mantêm anomalias mais equilibradas, mas aumentam a correlação com a precipitação e com PP0809 em ambos os cenários, reforçando a sua função como indicadores integradores do sistema bioclimático alterado.

As anomalias de correlação entre os índices bioclimáticos revelam uma reorganização interna das relações climáticas na Região Demarcada dos Vinhos Verdes à medida que se intensificam os cenários de alterações climáticas. Os padrões térmicos deixam de ser os únicos determinantes da aptidão vitivinícola e surgem novas relações entre precipitação, evapotranspiração e stress térmico, reforçando a importância da análise multivariada para a definição de zonas homogêneas e estratégias de adaptação. A evolução destas anomalias deve ser monitorizada, dado que os índices menos redundantes e mais informativos podem variar com o tempo, sendo essencial adaptar os critérios de seleção de variáveis à dinâmica climática futura (Figura 4.26).

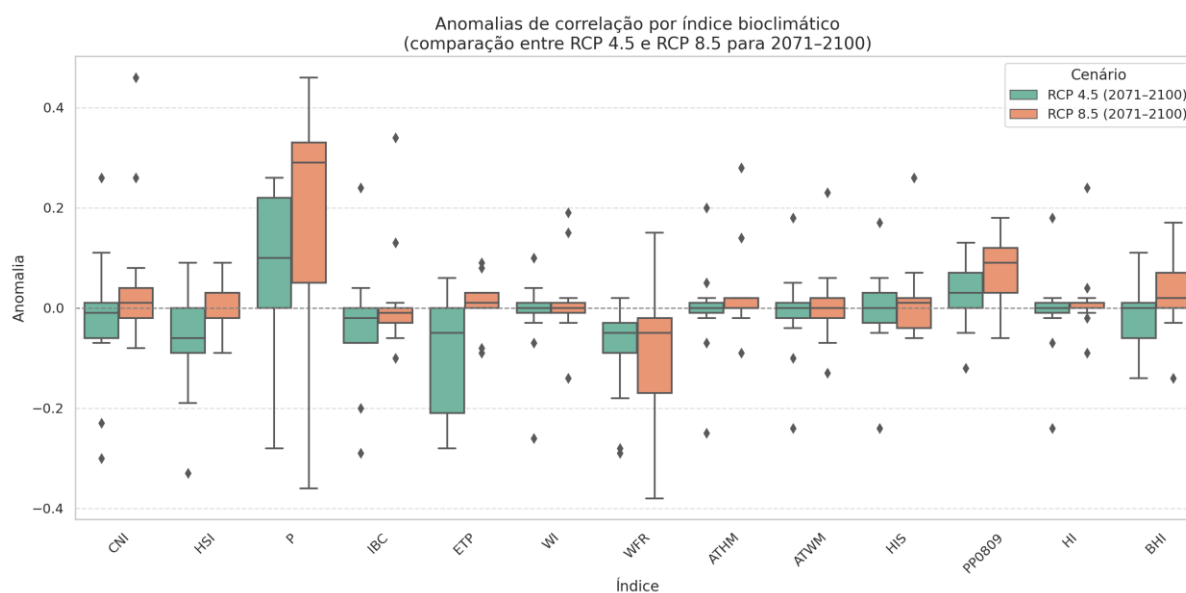


Figura 4.26. Distribuição das Anomalias de Correlação.

4.3.1. Análise das relações de covariância

A Análise de Componentes Principais (PCA) aplicada aos índices bioclimáticos da Região Demarcada dos Vinhos Verdes visa reduzir a dimensionalidade dos dados, identificando combinações lineares de variáveis que sintetizem a maior parte da variabilidade observada. Esta abordagem multivariada é particularmente útil para a definição de unidades bioclimáticas

homogêneas, permitindo distinguir padrões estruturais complexos entre variáveis, bem como avaliar a sua estabilidade em cenários futuros de alterações climáticas.

No cenário de referência (1960–1990), os resultados indicam uma estrutura fortemente dominada pelas duas primeiras componentes principais: a componente L1 explica 74,1% da variância total dos dados, enquanto a L2 contribui com 19,6%. A terceira componente (L3), com 4,7%, representa a variação residual mais relevante. Assim, as três primeiras componentes principais explicam cumulativamente 98,4% da variância, revelando uma estrutura de dados altamente condensável e com redundância estatística acentuada entre variáveis.

No entanto, ao analisar os cenários projetados (RCP 4.5 e RCP 8.5, para os horizontes 2041–2070 e 2071–2100), observa-se uma tendência progressiva para a dispersão da variabilidade explicada, com redução do peso da L1 e crescimento relativo das componentes L2 e L3. Por exemplo, sob o cenário RCP 8.5 (2071–2100), a L1 explica apenas 65,8% da variância, e a L3 sobe para 6,6%, acompanhada de um aumento expressivo da variância atribuída a componentes superiores (ex.: L4 = 4,3%). Esta redistribuição da variância sinaliza uma perturbação na estrutura de covariância, compatível com o aumento das anomalias climáticas e com a emergência de regimes microclimáticos distintos. Este padrão é consistente com os resultados das análises de anomalias de correlação (Figura 4.24 e Figura 4.25), que mostram uma instabilidade crescente das relações entre variáveis à medida que os cenários climáticos se tornam mais severos, com especial destaque para o horizonte de 2080 sob RCP 8.5 (Quadro 4.2).

Quadro 4.2. Racio de “Eigenvalues” de cada componente principal.

	Percent of Eigenvalues					Accumulative of Eigenvalues			
	Reference period	RCP 4.5		RCP 8.5		RCP 4.5		RCP 8.5	
	1960-1990	2041-2070	2071-2100	2041-2070	20071-2100	2041-2070	2071-2100	2041-2070	20-71-2100
Principal components layers									
1	74,1	72,7	65,8	73,2	72,9	72,7	65,8	73,2	72,9
2	19,6	18,3	20,2	17,5	16,4	91,0	86,0	90,6	89,3
3	4,7	6,9	6,6	7,9	8,6	97,9	92,6	98,5	97,9
4	0,7	0,9	4,3	0,7	0,7	98,9	96,9	99,2	98,6
5	0,5	0,6	1,0	0,5	0,6	99,4	97,9	99,7	99,2
6	0,2	0,3	0,9	0,2	0,4	99,8	98,8	99,8	99,6
7	0,1	0,1	0,6	0,1	0,2	99,9	99,4	99,9	99,9
8	0,1	0,1	0,4	0,0	0,1	100,0	99,8	100,0	100,0
9	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	100,0	99,9	100,0	100,0
10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	100,0	100,0	100,0

11	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	100,0	100,0	100,0
12	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	100,0	100,0	100,0
13	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	100,0	100,0	100,0

A análise das matrizes de covariância associadas a cada componente (L1, L2 e L3) revela o grau de contribuição individual das variáveis na estrutura multivariada da PCA (). No período de referência, destacam-se as seguintes observações (Quadro 4.3):

Na componente L1, que sintetiza o gradiente térmico dominante, sobressaem variáveis como:

- i. Índice Bioclimático de Hidalgo (IBC);
- ii. Índice Heliotérmico de Branas (BHI);
- iii. Índice de Winkler (WI);
- iv. Índice Hidrotérmico de Selianinov (HIS);
- v. Temperaturas médias (ATWM, ATHM).

Estes índices estão fortemente associados à acumulação térmica ao longo do ciclo vegetativo, sendo por isso centrais na definição da aptidão vitivinícola clássica.

Na componente L2, que representa um gradiente misto térmico-hídrico, assumem maior protagonismo:

- i. Índice de Frio Noturno (IFN);
- ii. Evapotranspiração Potencial (ETP);
- iii. BBLI (Branas-Bernon-Lavadoux);
- iv. Precipitação nos meses finais do ciclo.

Esta componente parece captar variações mais relacionadas com a frescura e humidade relativa, com impacto direto sobre o perfil aromático e sanitário das uvas.

A componente L3, apesar de representar menos variância no cenário de referência, mostra um padrão específico com maior carga nos índices:

- i. PP0809;
- ii. HSI;
- iii. BBLI.

Esta componente parece expressar o desequilíbrio entre calor extremo e precipitação tardia, sugerindo um eixo de vulnerabilidade às doenças fúngicas e ao escaldão.

A evolução das relações de covariância nas projeções futuras indica alterações significativas que refletem mudanças estruturais no funcionamento agroclimático da região:

- i. O BBLI regista aumentos relevantes na sua covariância com as componentes L2 e L3, indicando um papel crescente como marcador composto de risco climático (combinação de temperatura e humidade);
- ii. A ETP assume comportamento ambivalente: mantém peso na L1, mas passa a ter maior carga na L3, sugerindo dissociação parcial em relação aos gradientes térmicos clássicos, e maior ligação a extremos hidrotérmicos;
- iii. O BHI, inicialmente muito correlacionado com os índices térmicos tradicionais, mostra uma covariância mais repartida nas componentes superiores (ex.: L3), o que sugere alterações na relação entre radiação solar e temperaturas ativas;
- iv. O índice de stress térmico ganha expressão em L3, associado a cenários de elevadas temperaturas máximas com baixa disponibilidade hídrica.

Estes padrões revelam que os desequilíbrios projetados entre variáveis climáticas não se distribuem de forma uniforme, mas afetam com maior intensidade índices compostos e extremos, comprometendo a sua estabilidade estrutural dentro do modelo PCA.

A análise das componentes principais, em articulação com as anomalias de correlação e a matriz de covariância, permite identificar os índices mais informativos para a caracterização bioclimática atual e futura:

Das oito variáveis com maior influência multicomponente, quatro são índices térmicos/heliotérmicos (IFN, HSI, IBC e WI), e quatro são índices hídricos/hidrotérmicos (P, ETP, HIS e PP0809), demonstrando a relevância equilibrada entre calor e disponibilidade de água no contexto da vitivinicultura do Noroeste de Portugal. A desagregação da variância e a redistribuição da covariância reforçam a ideia de que, em cenários futuros, as unidades bioclimáticas tradicionais tenderão a fragmentar-se, com surgimento de microclimas localizados com respostas diferenciadas ao stress térmico e hídrico.

Estes resultados suportam a utilização de PCA + Clustering como estratégia metodológica robusta para definir zonas homogéneas de risco, aptidão e vulnerabilidade, servindo de base para intervenções vitivinícolas adaptativas.

Quadro 4.3. Matriz de covariância dos componentes principais selecionados.

	RP			4.5(50)			4.5(80)			8.5(50)			8.5(80)		
Input Layer	L1	L2	L3	L1	L2	L3	L1	L2	L3	L1	L2	L3	L1	L2	L3
IFN	0,27	0,34	-0,12	0,28	0,35	-0,07	0,31	0,35	-0,07	0,27	0,38	-0,05	0,26	0,37	0,05
HSI	0,26	-0,31	0,40	0,27	-0,34	0,34	0,29	-0,37	0,28	0,29	-0,33	0,32	0,29	-0,37	0,26
P	-0,02	0,42	0,70	-0,10	0,34	0,77	-0,10	0,33	0,68	-0,13	0,29	0,79	-0,18	0,13	0,83
IBC	0,34	0,05	-0,14	0,33	0,06	-0,09	0,31	0,05	-0,14	0,33	0,08	-0,12	0,32	0,11	-0,09
ETP	0,28	-0,34	0,25	0,30	-0,36	0,21	0,22	-0,25	0,42	0,32	-0,37	0,17	0,32	-0,38	0,13
WI	0,32	0,11	0,02	0,29	0,10	0,07	0,32	0,10	0,04	0,29	0,12	0,06	0,28	0,12	0,10
WFR	0,22	0,55	-0,26	0,20	0,60	-0,19	0,23	0,67	-0,13	0,18	0,64	-0,16	0,15	0,69	-0,02
ATHM	0,29	0,06	0,03	0,29	0,05	0,05	0,31	0,04	0,03	0,29	0,07	0,05	0,28	0,06	0,08
ATWM	0,28	-0,06	0,21	0,28	-0,09	0,20	0,30	-0,13	0,12	0,29	-0,08	0,19	0,28	-0,12	0,18
HIS	-0,31	0,01	0,10	-0,29	-0,05	0,06	-0,31	-0,01	0,13	-0,28	-0,08	0,07	-0,29	-0,12	0,06
RF0809	-0,27	0,38	0,34	-0,29	0,29	0,35	-0,30	0,29	0,37	-0,29	0,23	0,34	-0,32	0,14	0,35
HI	0,28	-0,04	0,14	0,29	-0,05	0,15	0,31	-0,05	0,09	0,29	-0,03	0,14	0,29	-0,05	0,14
BHI	0,33	0,14	-0,05	0,32	0,19	-0,03	0,21	0,04	0,24	0,29	0,10	0,11	0,28	0,07	0,14

4.4. Definição de unidades homogêneas bioclimáticas

A análise hierárquica das componentes principais resultantes do PCA permitiu a identificação de unidades bioclimáticas homogêneas com base na semelhança multivariada. O dendrograma apresenta uma estrutura hierárquica bem definida, onde os agrupamentos se organizam por níveis de semelhança crescente. À medida que se sobe na escala de distância, os clusters integram unidades com características cada vez mais distintas. A distância de fusão reflete a dissimilaridade bioclimática entre classes. O corte a diferentes alturas permite definir diferentes níveis de desagregação, desde dois grandes macrogrupos no nível I até 36 unidades no nível VI (Figura 4.27 e Figura 4.28).

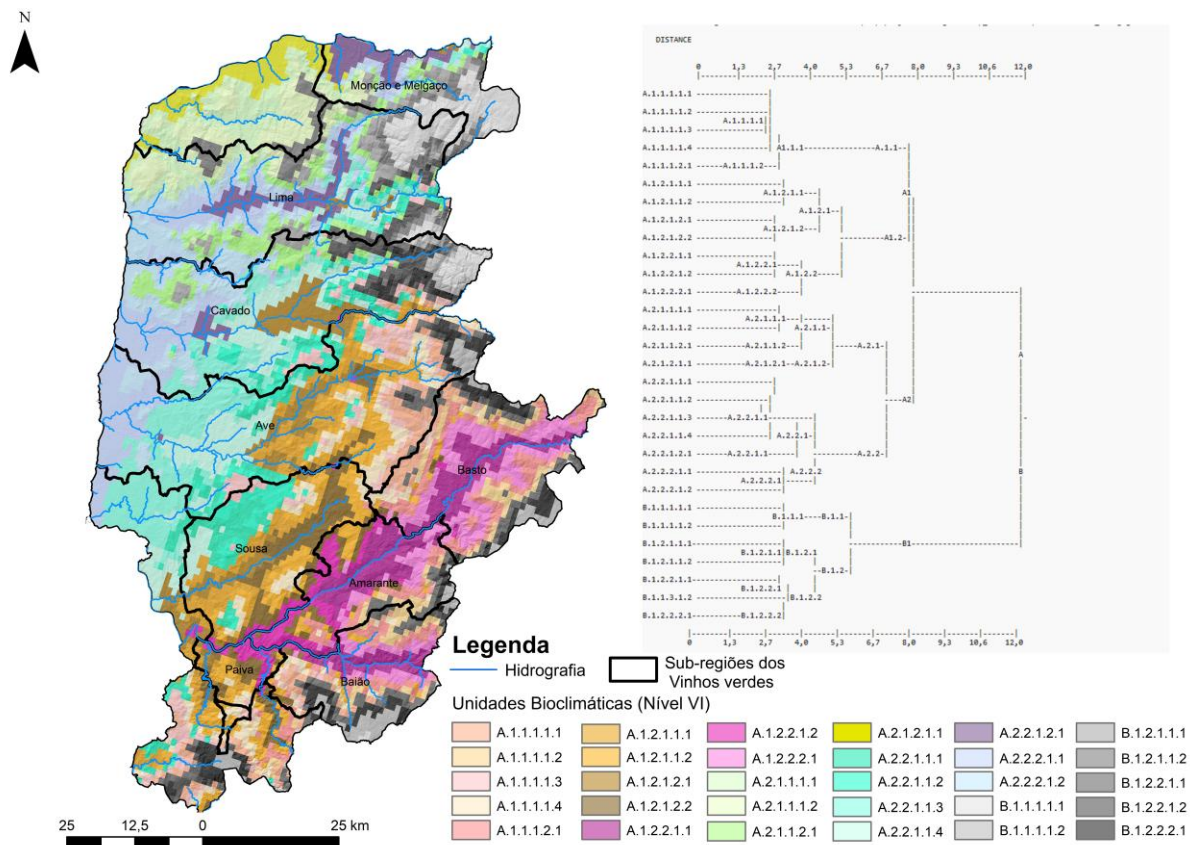


Figura 4.27. Unidades Bioclimáticas Homogêneas – Nível VI (período de referência 1960–1990).

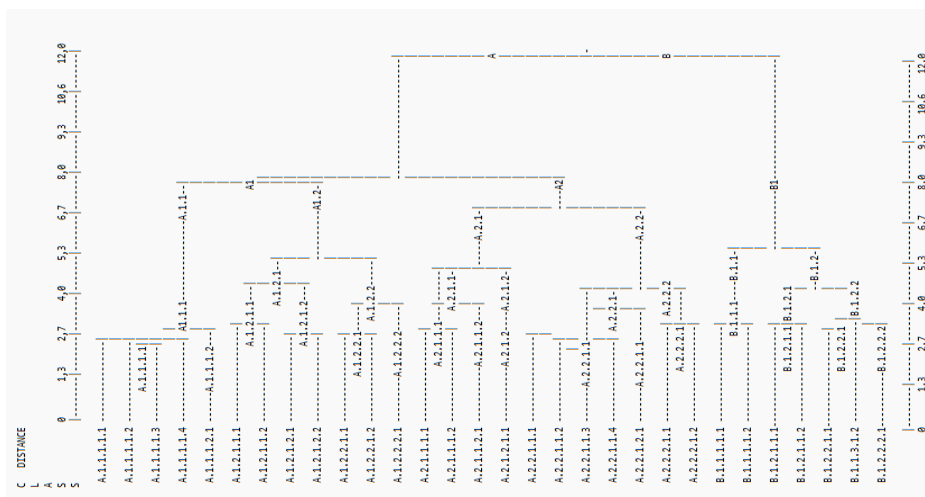


Figura 4.28. Dendrograma de agrupamento hierárquico das unidades bioclimáticas.

Verifica-se que as primeiras fusões ocorrem entre unidades espacialmente contíguas, refletindo transições suaves nos gradientes térmicos e hídricos. A estrutura do dendrograma é assim coerente, validando a robustez do modelo bioclimático gerado. A nível mais geral, identificam-se

se dois grandes grupos: o Grupo A, caracterizado por áreas de baixa a média altitude, típicas de regiões de vale e zonas litorais; e o Grupo B, associado a zonas de maior altitude, com influência montanhosa marcada e clima mais fresco e húmido. Esta divisão é essencialmente explicada por diferenças de altitude, amplitude térmica e volume de precipitação anual, sendo o limiar de separação geralmente em torno dos 300–400 m.

Nível II: Divisão de A em A1 e A2

O Grupo A subdividiu-se em duas unidades distintas:

- i. A1: característico do interior centro-sul da RDVV, com maior continentalidade e menor influência atlântica;
- ii. A2: dominante no litoral e noroeste da região, com influência marítima marcada e menores amplitudes térmicas.

O Grupo B mantém-se indiviso neste nível, mantendo a homogeneidade climática nas áreas de altitude superior.

Nível III: Primeiras ramificações de B e A

Neste nível ocorre uma divisão importante no grupo B:

- i. B1.1: representa as áreas de altitude muito elevada (superior a 900–1000 m), sobretudo nas zonas mais interiores;
- ii. B1.2: zonas de altitude intermédia (450–900 m), com características ainda marcadamente montanhosas, mas com maior variabilidade térmica e menor precipitação.

No grupo A:

- i. A1.1 corresponde a zonas de transição montanhosa, com altitudes entre 400 e 700 m;
- ii. A1.2 representa os vales interiores do sul da RDVV, onde a acumulação térmica é elevada;
- iii. A2.1 surge como unidade litoral a norte do Lima, enquanto A2.2 representa os vales do Minho, Lima e Cavado, com baixa altitude (<200 m) e forte influência atlântica.

Nível IV: Detalhes locais e primeiras clivagens costeiras/interiores

Neste nível observa-se:

- i. Divisão de B1.2 em B1.2.1 (altitudes médias do Noroeste) e B1.2.2 (centro-sul interior, entre 600–900 m);
- ii. Subdivisão de A1.2 em A1.2.1 (zona de transição) e A1.2.2 (vales profundos do Douro e Tâmega);
- iii. A A2.1 divide-se em A2.1.1 e A2.1.2, refletindo a distinção entre áreas de cota inferior a 50 m (vales baixos do litoral) e zonas entre 200–400 m.

Nível V: Reconhecimento de transições fisiográficas subtis

- i. Divisão de A1.1.1 (transição entre A1.1 e A1.2) em unidades com diferenças topográficas de apenas 100–200 m;
- ii. A A1.2.2 (vales interiores) é segmentada em A1.2.2.1 (zonas entre 100–200 m) e A1.2.2.2 (zonas de cota superior, com maior stress térmico);
- iii. A A2.2.2, unidade atlântica costeira, subdivide-se entre uma variante do atlântico norte e outra do atlântico central.

Nível VI: Individualização máxima

Neste nível de máxima desagregação, condições bioclimáticas específicas resultantes de pequenas variações topográficas e posicionamento geográfico são captadas:

- i. A unidade B1.1.1.1, com cota entre 900–1200 m, é segmentada em subunidades com diferenças de orientação e exposição solar;
- ii. A A1.2.1 divide-se em 4 unidades distintas que individualizam zonas específicas dos vales do Sousa, Ave e Tâmega;
- iii. A unidade A2.2.1.1, presente nas regiões intermédias dos vales, divide-se em quatro subunidades com padrões espaciais distintos, refletindo influências microclimáticas e de exposição;
- iv. As unidades A2.2.2.1 e A2.2.2.2 refinam ainda mais o padrão costeiro-atlântico em função de latitude e proximidade ao oceano.

O cenário de referência (1960–1990) revela uma estrutura bioclimática complexa e fortemente moldada pela fisiografia regional. As unidades identificadas resultam da interação entre altitude, exposição solar, precipitação e acumulação térmica. Este modelo fornece a base para a análise de cenários futuros, permitindo compreender como as unidades homogéneas poderão reagir às alterações climáticas (Figura 4.29).

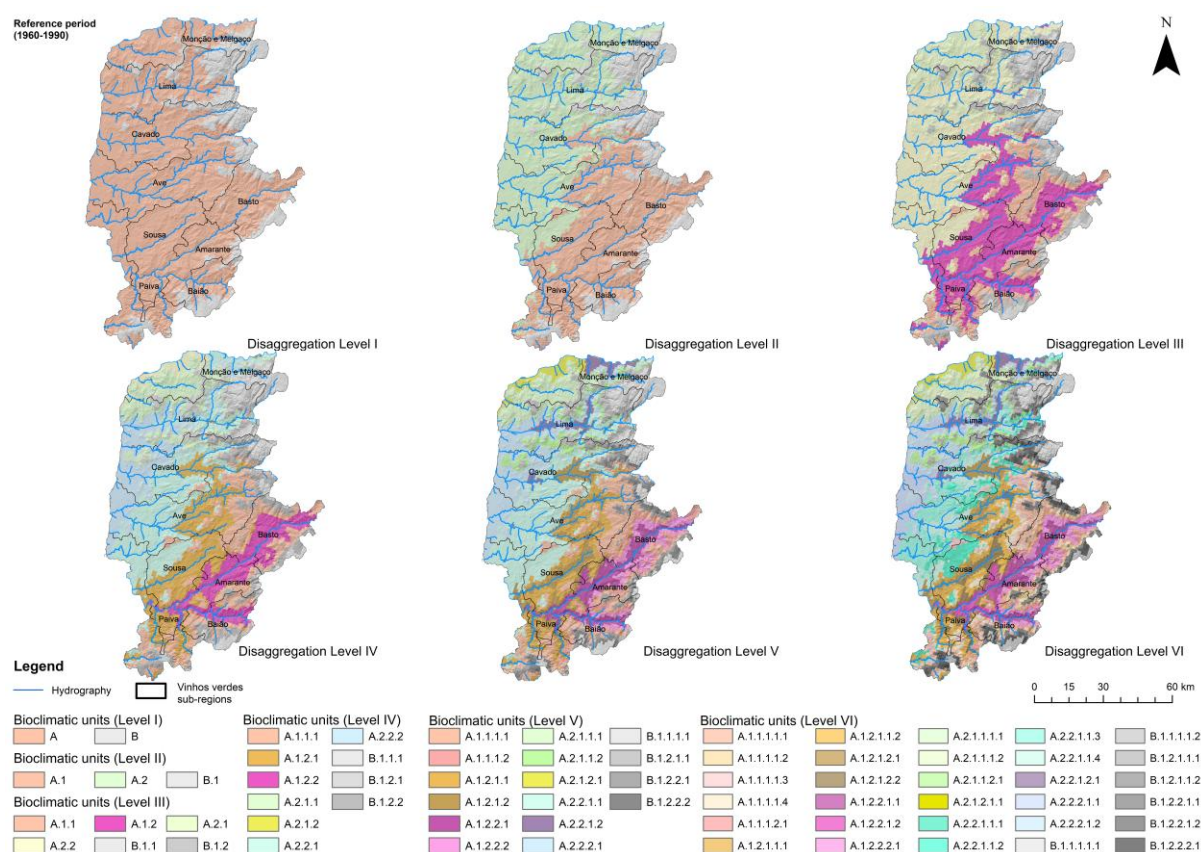


Figura 4.29. Unidades Bioclimáticas por Nível de Desagregação (período de referência: 1960–1990).

4.4.1. Evolução das unidades bioclimáticas homogêneas em contexto de alterações climáticas

A evolução espacial das Unidades Bioclimáticas Homogêneas (UBH), projetada para os cenários RCP 4.5 e RCP 8.5 nos horizontes 2041–2070 e 2071–2100, evidencia uma reconfiguração climática significativa e gradual da climatologia da Região Demarcada dos Vinhos Verdes (RDVV), com impactos diretos na viabilidade futura da vitivinicultura regional. A classificação foi construída a partir da combinação entre Análise de Componentes Principais (PCA) e agrupamento hierárquico ascendente (HCA), permitindo uma leitura espacialmente detalhada dos perfis heliotérmicos e hidrotérmicos do território.

Ao nível de desagregação mais agregado (Nível I), verifica-se uma retração consistente das UBH do Grupo B, tradicionalmente associadas a climas mais frescos e húmidos, particularmente em áreas de maior altitude. Esta retração é visível sobretudo nas projeções de longo prazo (2071–2100), com especial destaque para o cenário RCP 8.5, onde estas tipologias ficam praticamente confinadas às zonas mais elevadas do Marão e do extremo nordeste da sub-

região de Basto. A substituição por unidades do Grupo A, marcadamente mais quentes e secas, torna-se dominante, mesmo em cotas atualmente ocupadas por UBH frescas. Esta substituição traduz-se na expansão de UBH como A1.2.2, A2.2.1 e A2.2.2, associadas a condições de baixa precipitação, elevada evapotranspiração e forte acumulação térmica (graus-dia). As zonas mais afetadas incluem os vales do Tâmega, Sousa, Ave e áreas interiores de Baião, onde se registam perdas significativas de zonas de refúgio térmico. Estes refúgios, até agora fundamentais para o equilíbrio enológico e a estabilidade fenológica da vinha, encontram-se progressivamente sob pressão climática.

Com o aumento da resolução bioclimática (níveis III a VI), observa-se um padrão claro de fragmentação espacial. Unidades anteriormente homogéneas são substituídas por mosaicos complexos de UBH, com identidade climática própria, mesmo em territórios contíguos. Este fenómeno está intrinsecamente relacionado com a resposta não linear do clima à complexidade orográfica da RDVV. A compartimentação climática torna-se particularmente evidente em zonas como o vale do Sousa, onde unidades como A1.2.1.1.1 e A1.2.1.1.2 mostram separações associadas a variações altitudinais de apenas ~100 metros e diferentes exposições solares. Nas sub-regiões de Amarante, Paiva e Cávado, as unidades A1.2.2 e A2.2.1 subdividem-se em múltiplos subtipos no nível VI, ilustrando a emergência de microclimas que desafiam a atual lógica de zonagem vitivinícola (Figura 4.30 a Figura 4.33). A análise comparativa entre cenários e horizontes permite identificar zonas de instabilidade bioclimática, onde a identidade das UBH muda frequentemente. Estas zonas — como os vales do Ave e do Sousa, os

contrafortes do Minho-Lima e o interior de Baião — devem ser consideradas áreas prioritárias de risco climático, exigindo estratégias adaptativas mais intensivas e localizadas (Quadro 4.4).

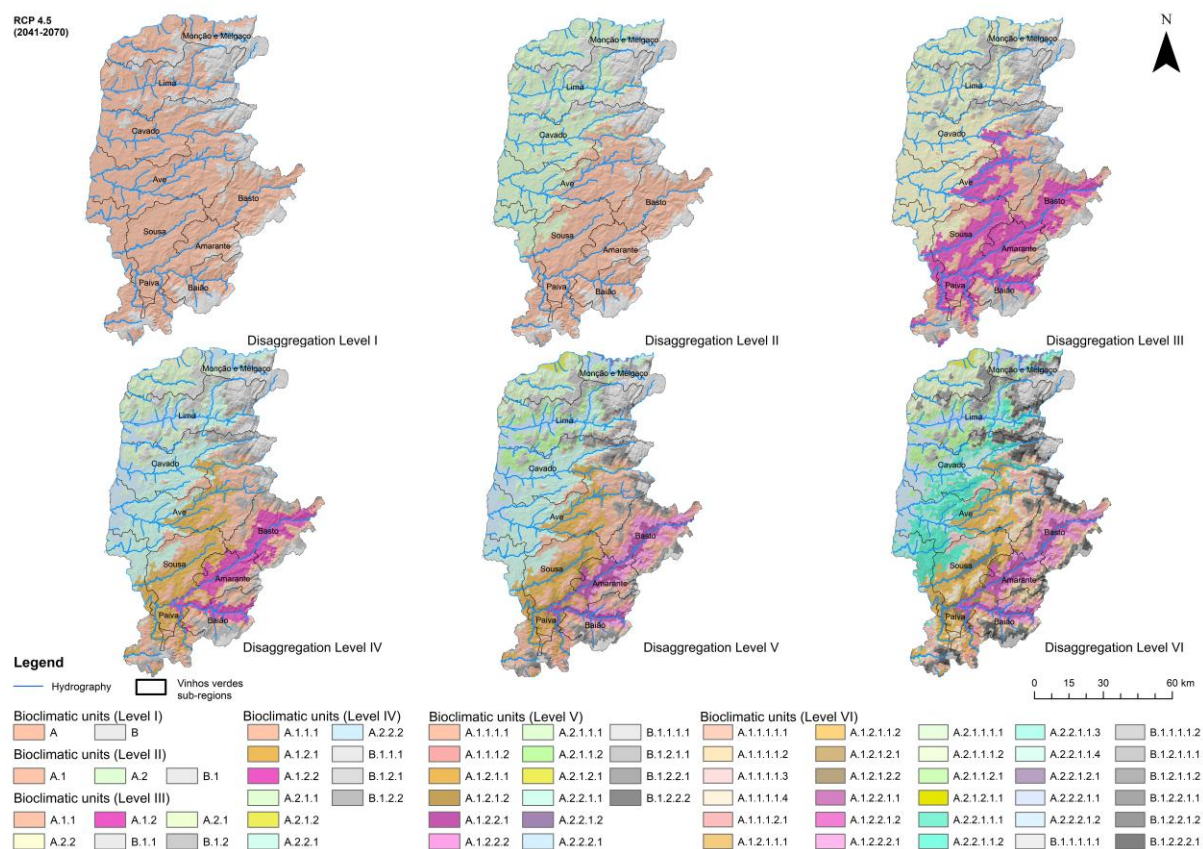


Figura 4.30. Unidades Bioclimáticas por Nível de Desagregação (RCP 4.5 (2041-2070)).

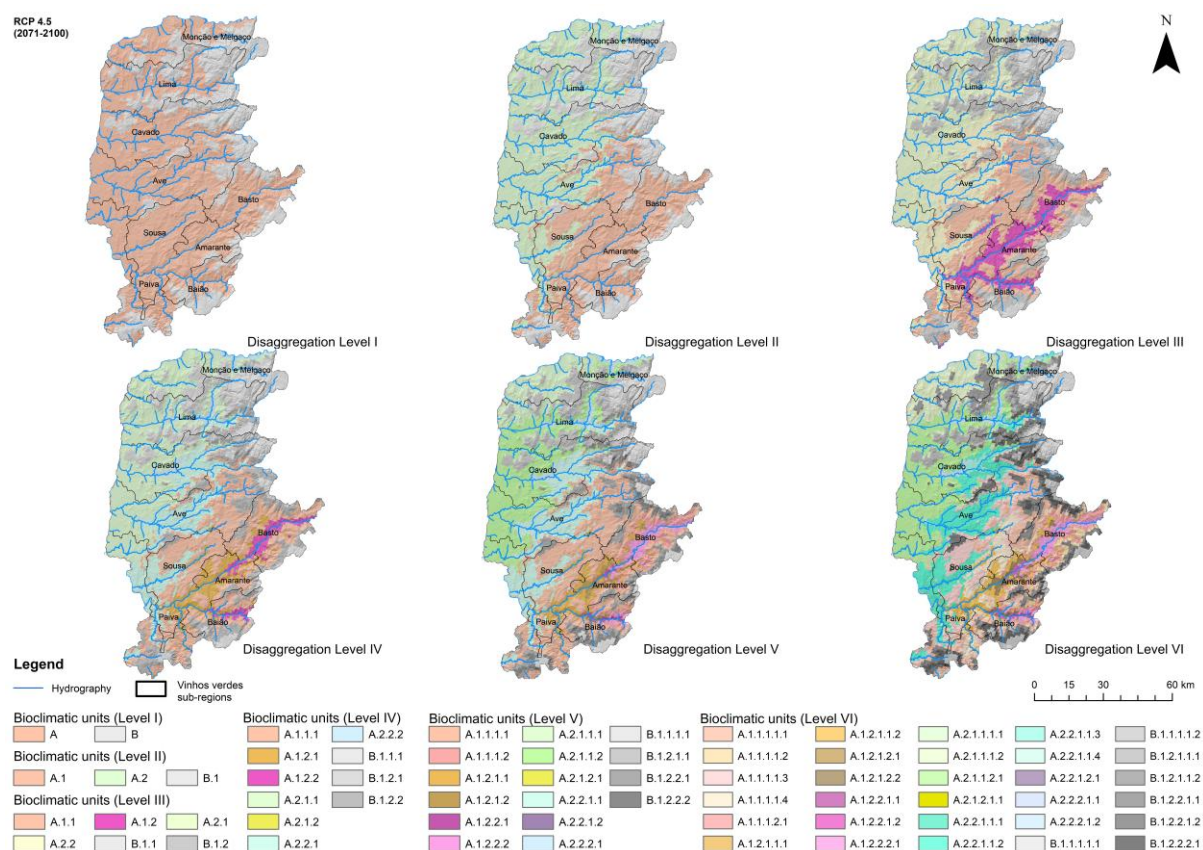


Figura 4.31. Unidades Bioclimáticas por Nível de Desagregação (RCP 4.5 (2071-2100)).

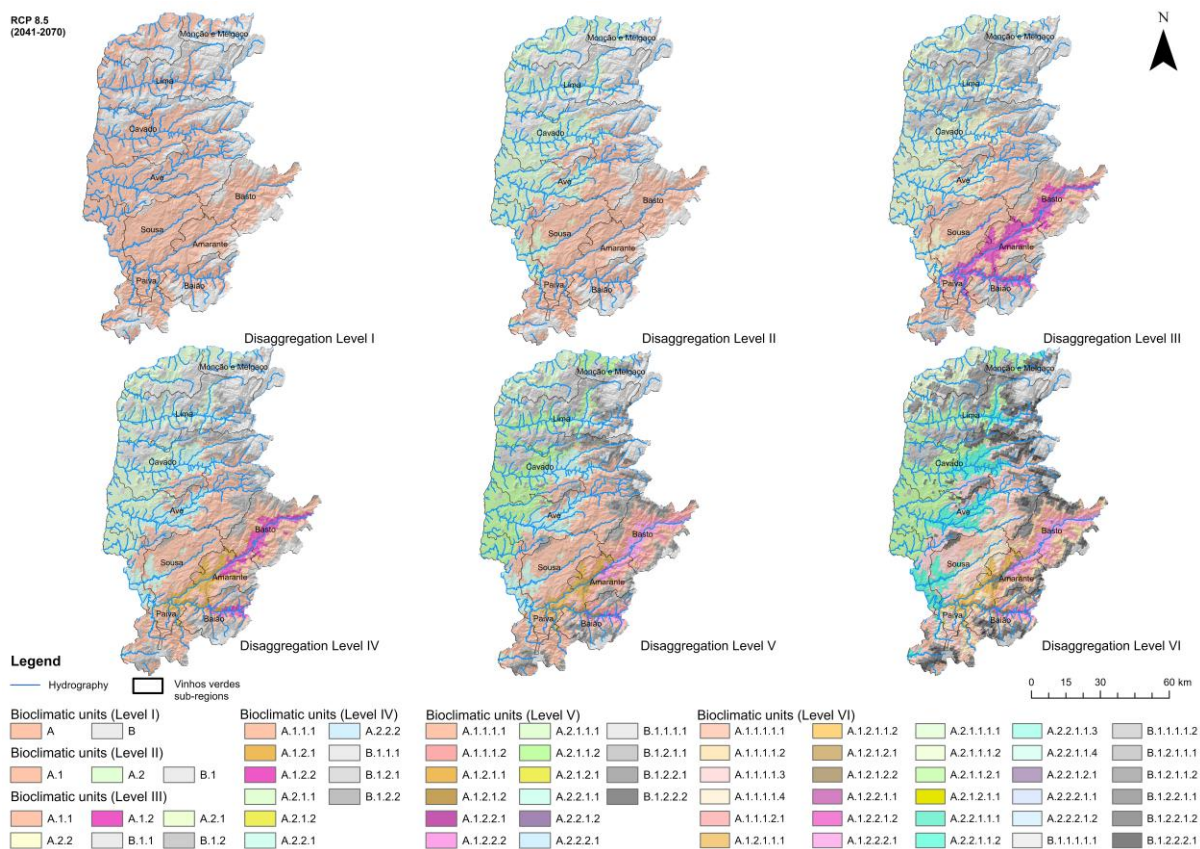


Figura 4.32. Unidades Bioclimáticas por Nível de Desagregação (RCP 8.5 (2041-2070)).

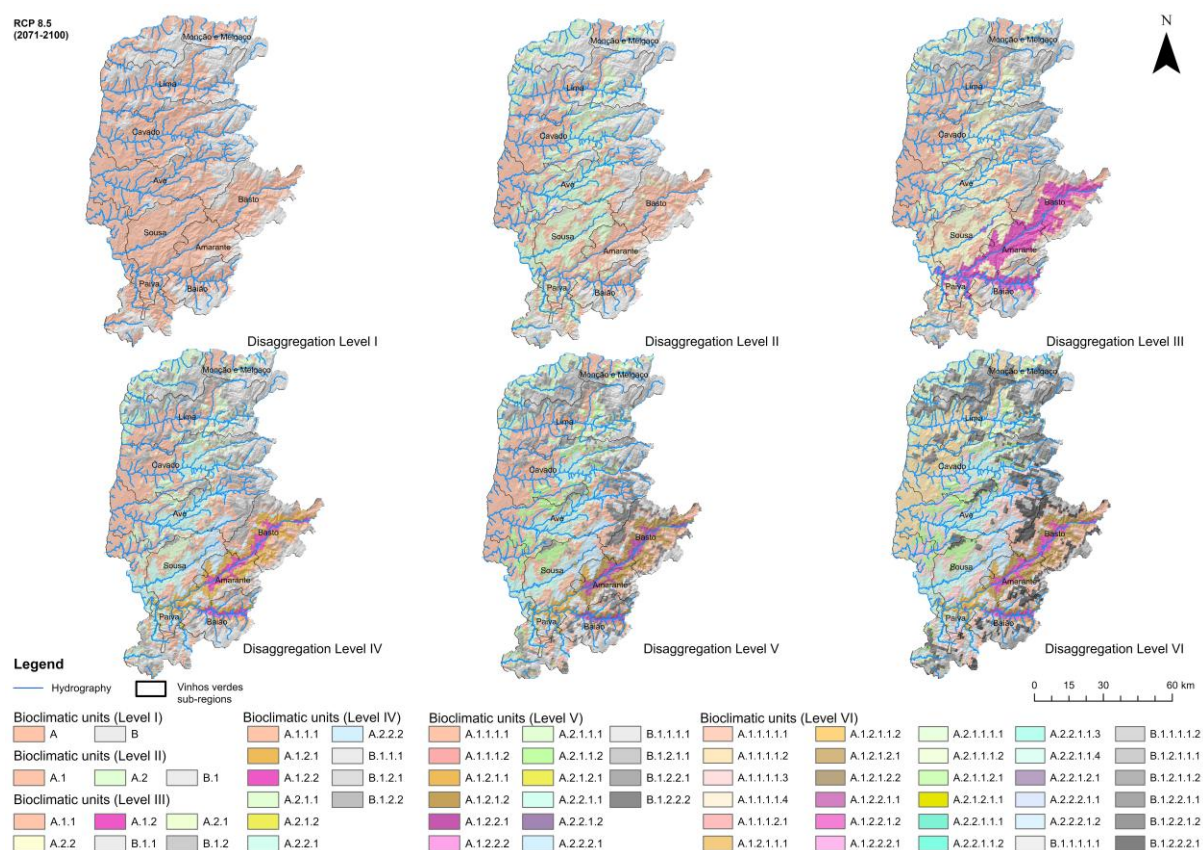


Figura 4.33. Unidades Bioclimáticas por Nível de Desagregação (RCP 4.5 (2071-2100)).

Quadro 4.4. Síntese da evolução das UBH em contexto de alterações climáticas.

Cenário	Síntese da Evolução	Alterações Observadas	Implicações para a Vitivinicultura
RCP 4.5 (2041–2070)	Estabilização geral da macroestrutura bioclimática, com fragmentações localizadas.	- Manutenção das grandes unidades A e B - Fragmentações subtis ao nível IV–VI (Sousa, Ave, Paiva) - Expansão da A1.2.2.1.1 para zonas mais frescas - Emergência de núcleos climáticos dentro da mesma sub-região	- Reforça a necessidade de gestão parcelar - Variabilidade espacial requer monitorização de maior resolução - Início de reestruturação interna da aptidão climática
RCP 4.5 (2071–2100)	Reorganização progressiva da estrutura das UBH e declínio das zonas frescas	- Redução das unidades B (ex: B1.1.1.1.2) - Subida altitudinal de UBH mais quentes - Aumento de unidades no nível VI em Sousa, Amarante e Paiva - Perda de coerência espacial em zonas tradicionais	- Sinais de transição bioclimática clara - Exige adaptação varietal e revisão das práticas enológicas - Estratégias locais de mitigação ganham relevância
RCP 8.5 (2041–2070)	Aceleração térmica e expansão de UBH secas	- A1.2.2.1.1, A1.2.2.2 e A2.2.2.1 tornam-se dominantes - Fragmentação de unidades do Grupo B - Deslocação altitudinal das fronteiras A/B	- Aumento do stress térmico e hídrico - Início da reconversão varietal - Maior exigência de eficiência hídrica
RCP 8.5 (2071–2100)	Ruptura estrutural e emergência de paisagem bioclimática quente e seca	- Grupo B praticamente desaparece (exceto Marão e Basto NE) - Domínio das UBH mediterrânicas secas - Redução do número de UBH em zonas críticas	- Perda de diversidade climática compromete a resiliência - Viabilidade da vitivinicultura tradicional em causa - Necessidade urgente de reestruturação técnica e varietal

O dendrograma gerado pela clusterização hierárquica demonstra a robustez interna do modelo bioclimático. As primeiras fusões entre UBH ocorrem entre unidades contíguas com perfis climáticos similares, validando a coerência espacial dos eixos principais da PCA (L1, L2, L3). As maiores distâncias dendrométricas — como as observadas entre B1.2.2.1.2 e A2.2.1.1.1 — revelam descontinuidades térmico-hídricas marcadas, indicando que os agrupamentos finais não são artificiais, mas traduzem diferenças reais na climatologia local. Este aumento da granularidade bioclimática tem implicações concretas para o planeamento vitivinícola da RDVV:

- i. UBH com estabilidade intercenários (ex: A1.2.1.1.1, A2.1.1.1.1) devem ser priorizadas como áreas de conservação de castas tradicionais e manutenção da tipicidade;
- ii. Zonas com elevada mutabilidade exigem ajustes técnicos, incluindo sombreamento, mudança de porta-enxertos ou antecipação da vindima;
- iii. Expansão de UBH quentes e secas poderá criar novos perfis enológicos (vinhos mais alcoólicos), mas exige uma revisão dos critérios de qualidade da Denominação de Origem.

Em síntese, a evolução das UBH no contexto das alterações climáticas projeta a RDVV para uma transição climática profunda. O modelo desenvolvido, pela sua capacidade de leitura fina e projeção futura, constitui uma ferramenta robusta e operacional para a redefinição estratégica da vitivinicultura regional. As suas aplicações vão desde a gestão parcelar até à formulação de políticas públicas de adaptação, integrando-se plenamente nas exigências dos Planos Municipais de Adaptação às Alterações Climáticas (P-3AC) e da gestão sustentável da Denominação de Origem dos Vinhos Verdes (Figura 4.34).

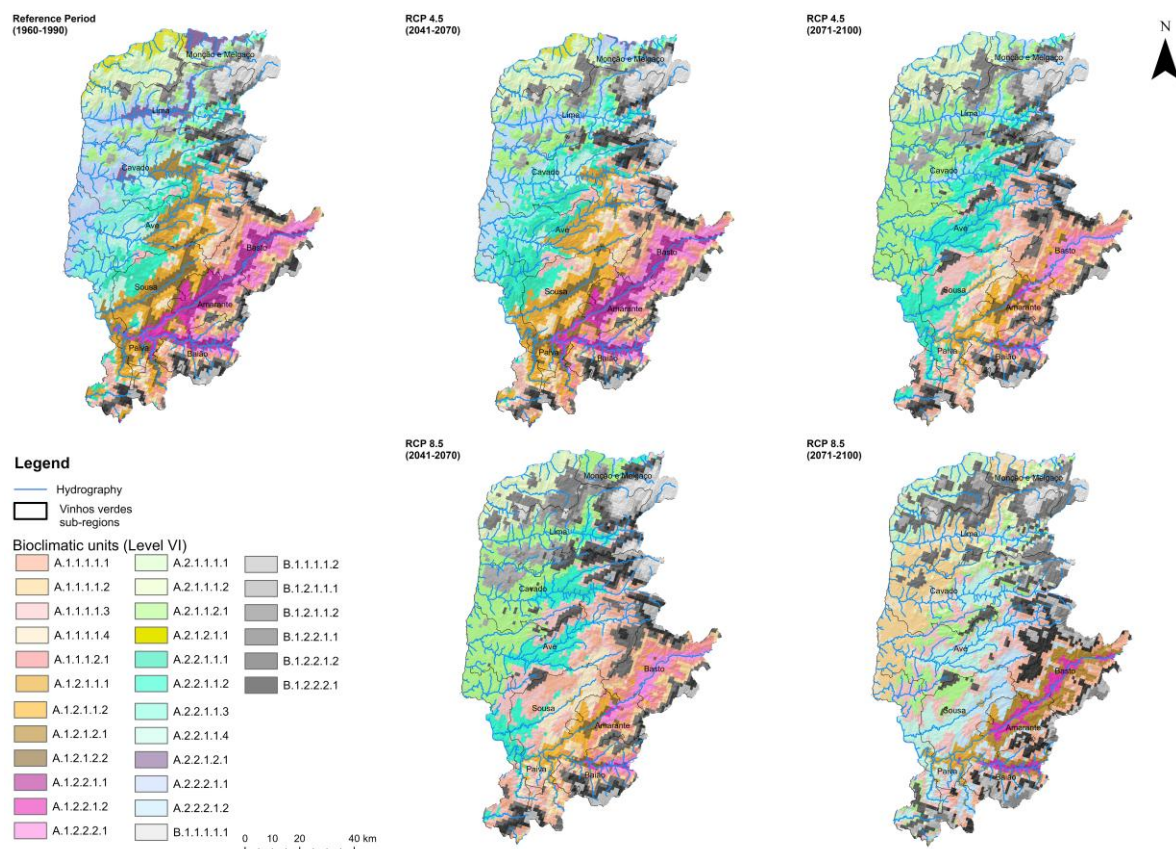


Figura 4.34. Evolução das unidades bioclimáticas, nível de desagregação 6, (N6) em contexto de alterações climáticas.

4.4.2. Definição da Intensidade da alteração nas Unidades Bioclimáticas homogéneas

A avaliação da intensidade de alteração nas unidades homogéneas bioclimáticas (UHBs) constitui a fase final do presente trabalho, permitindo sintetizar, de forma espacialmente explícita, os impactos potenciais das alterações climáticas na Região dos Vinhos Verdes (RDVV). A análise baseia-se na hierarquia taxonómica das unidades bioclimáticas até ao nível N6, estabelecendo uma métrica que traduz o grau de mudança sofrido por cada pixel entre o cenário de referência (presente) e os cenários futuros RCP 4.5 e RCP 8.5. A intensidade de alteração foi determinada através da comparação direta dos códigos N6 entre o presente e cada cenário futuro. A profundidade da transição hierárquica foi quantificada de forma ordinal, atribuindo valores de 0 (sem alteração) a 6 (mudança total de grupo bioclimático). Alterações em níveis inferiores (N6 ou N5) correspondem a modificações de baixa intensidade, enquanto

transições nos níveis superiores (N1 a N3) indicam mudanças estruturais com implicações significativas na identidade bioclimática local.

No cenário RCP 4.5, verifica-se uma distribuição espacial heterogénea da intensidade de alteração, com valores mais elevados concentrados nas sub-regiões interiores e centrais, como Sousa, Paiva, Ave e partes de Basto. Nestes territórios, ocorrem frequentemente alterações superiores ao nível N4, sugerindo uma elevada instabilidade bioclimática. Esta distribuição reflete padrões de transição intensificada ao longo de gradientes altitudinais e zonas de fronteira entre sub-regiões, onde as condições climáticas se encontram mais próximas de limiares de mudança (Figura 4.35). No cenário RCP 8.5, observam-se dinâmicas contrastantes. Em algumas sub-regiões, nomeadamente Sousa, Paiva e Ave, a intensidade média de alteração é inferior à verificada no RCP 4.5. Este comportamento poderá estar associado à resposta diferencial das UHBs a determinadas variáveis climáticas, como a precipitação total anual, que no RCP 8.5 apresenta ligeiros aumentos relativos em algumas zonas, atenuando o efeito das alterações térmicas. Em contrapartida, sub-regiões como Monção e Melgaço, Lima e Cávado registam intensificações relevantes da alteração bioclimática no RCP 8.5, com transições mais frequentes entre grupos distintos (Figura 4.36).

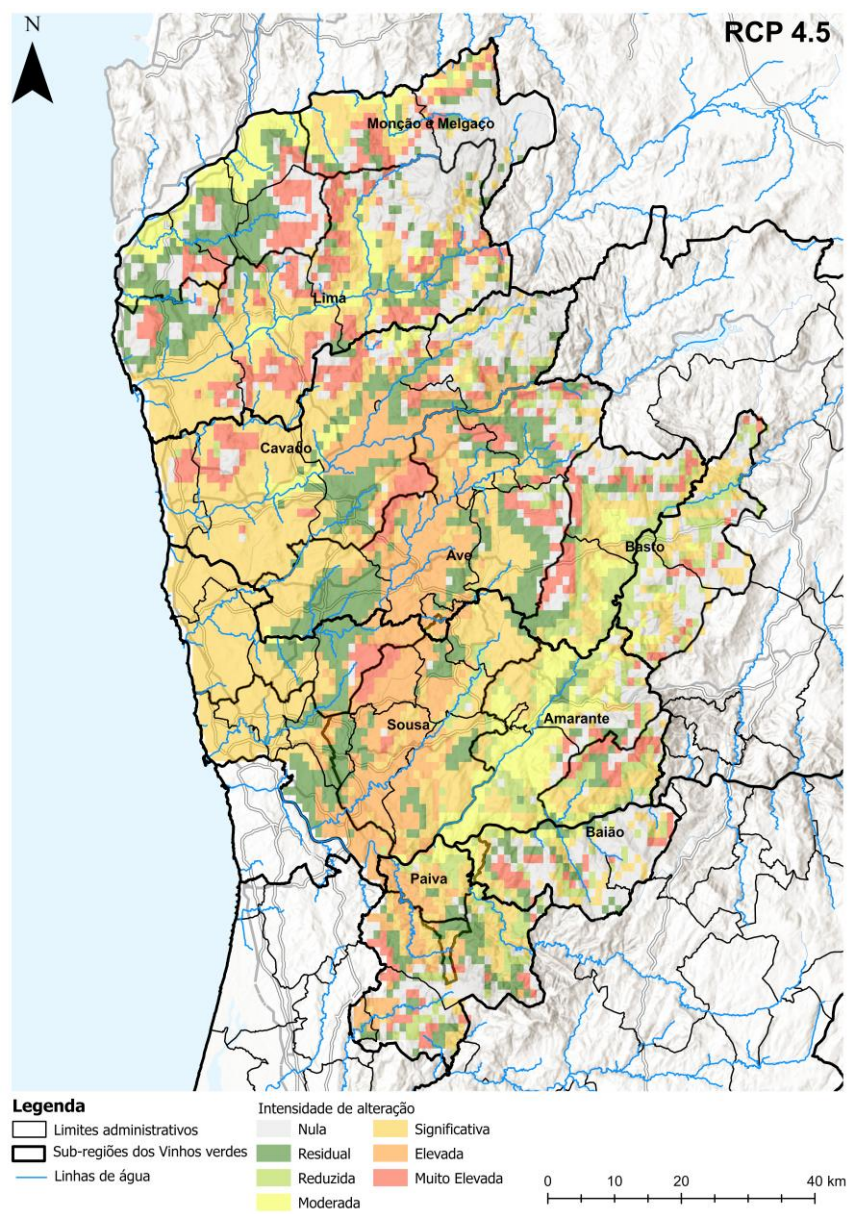


Figura 4.35. Intensidade de alteração das UBH (RCP 4.5).

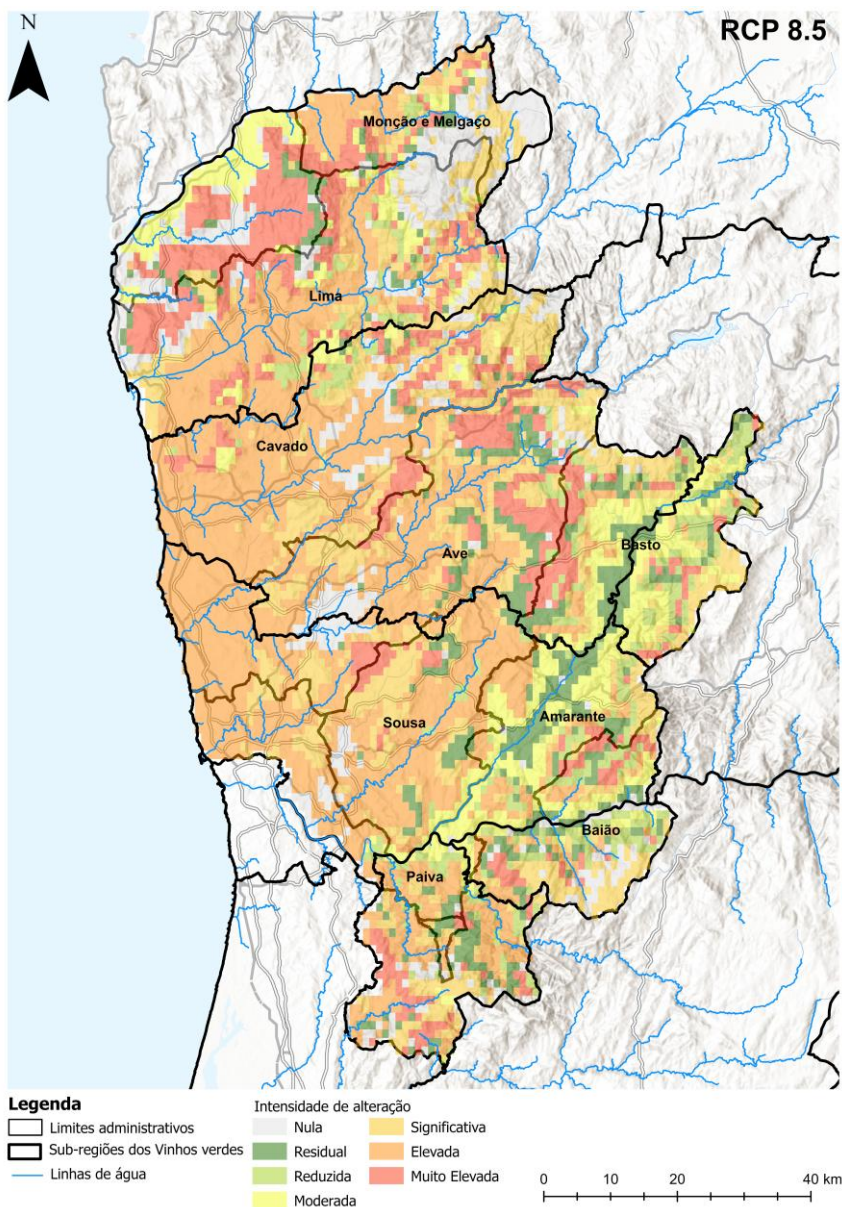


Figura 4.36. Intensidade de alteração das UBH (RCP 8.5).

A análise estatística por sub-região evidencia esta variação. No RCP 4.5, as sub-regiões de Sousa, Paiva e Ave apresentam médias de intensidade de alteração elevadas, com valores superiores a 3,5. No RCP 8.5, essas mesmas sub-regiões registam valores médios significativamente mais baixos, indicando uma maior resiliência local. Em sentido oposto, Lima e Monção e Melgaço apresentam um agravamento da intensidade de alteração no cenário RCP 8.5, ultrapassando os níveis registados no RCP 4.5. A análise da dispersão interna (Figura X) revela ainda uma elevada heterogeneidade em várias sub-regiões. Em Lima, Monção e Melgaço e Cávado, coexistem zonas com elevada estabilidade e áreas com transições

profundas, o que reforça a necessidade de abordagens diferenciadas à escala local. Esta variabilidade intra-regional acentua a complexidade da resposta bioclimática às alterações climáticas e sublinha a importância de instrumentos de planeamento que considerem as especificidades territoriais.

A intensidade de alteração permite identificar territórios mais vulneráveis à mudança bioclimática, fundamentais para a definição de estratégias de adaptação vitivinícola. Simultaneamente, possibilita a delimitação de zonas de maior estabilidade, essenciais para a manutenção da produção e conservação de características territoriais. A capacidade de quantificar e espacializar estas transições confere utilidade prática ao modelo desenvolvido, reforçando a sua aplicabilidade no apoio à decisão em contextos de gestão territorial e vitivinícola (Figura 4.37).

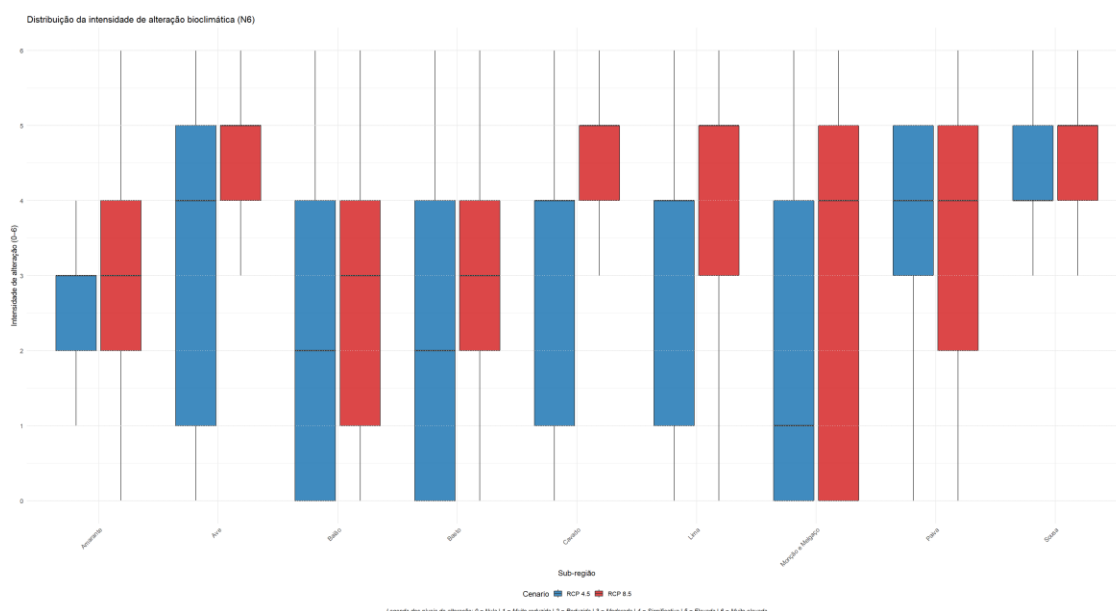


Figura 4.37. Avaliação da intensidade alteração por sub-região.

4.5. Diagnóstico bioclimático das explorações vitivinícolas: Indicadores e Impactes

4.5.1. Potencial héliotérmico acumulado

A análise do potencial térmico acumulado, obtida através da integração dos índices Heliotérmico de Huglin (IH), Winkler (IW) e de temperatura mais elevada no período mais quente que representa o stress térmico (HSI), evidencia alterações substanciais na aptidão agroclimática da Região Demarcada dos Vinhos Verdes (RDVV), quer no cenário RCP 4.5, quer no cenário mais severo, RCP 8.5. Estes três índices permitem captar, de forma

complementar, a acumulação térmica sazonal, a adequação ao ciclo vegetativo da vinha e a exposição a extremos térmicos prejudiciais à qualidade e tipicidade dos vinhos.

No cenário RCP 4.5, regista-se uma intensificação generalizada do potencial térmico acumulado, embora com padrões diferenciados consoante o contexto altitudinal e a exposição atlântica de cada sub-região (Figura 4.38 a Figura 4.41) (Anexo I - Figura A1.1 a Figura A1.9).

As sub-regiões atlânticas — como Lima, Cávado e Ave — continuam a evidenciar valores de IH entre 2100 e 2400, associados a IW entre 1651 e 1927 e HSI moderado (28–30 °C). Esta configuração traduz uma maturação equilibrada, ainda compatível com a diversidade varietal da região e com baixo risco de sobrematuração. No entanto, o aumento da acumulação térmica e do stress estival indicam já uma antecipação do ciclo vegetativo e uma ligeira redução da acidez, o que pode comprometer, progressivamente, o perfil de frescura típico dos vinhos destas zonas.

As sub-regiões do interior da RDVV, como Basto, Sousa, Amarante, Paiva, revelam um agravamento térmico mais acentuado, com vastas áreas a transitar para IH entre 2400 e 2700, IW superiores a 1927 e HSI frequentemente acima dos 30 °C. Esta condição traduz um cenário de maturação acelerada e risco de sobrematuração em castas tradicionais, comprometendo a expressão fenólica e aromática das uvas. Em zonas de menor altitude e maior continentalidade, já são detetados núcleos com potencial heliotérmico elevado ($IH > 2700$) e stress térmico elevado (HSI 30.1–32 °C), sinalizando situações críticas que exigirão uma reorganização profunda da vitivinicultura local.

Por outro lado, as sub-regiões interiores, como Sousa, Amarante, Paiva, Baião, apresentam um agravamento considerável das condições térmicas. Nestes territórios predominam já classes de IH entre 2400–2700, IW entre 1928–2204 e HSI entre 30.1–32 °C, o que corresponde a situações de maturação acelerada, possível perda de acidez e stress térmico elevado. Esta realidade compromete a tipicidade de algumas castas tradicionais e exigirá medidas adaptativas específicas. Algumas áreas de altitude intermédia ou maior exposição solar revelam transições para classes ainda mais elevadas, indicando o início de um processo de sobrematuração estrutural, que poderá comprometer a qualidade fenólica e aromática das uvas.

O cenário RCP 8.5 representa um agravamento extremo do regime térmico em toda a região. A totalidade das sub-regiões regista aumentos substanciais na acumulação de calor, com

implicações agronómicas muito significativas (Figura 4.42 a Figura 4.45) (Anexo I - Figura A1.10 a Figura A1.18).

A maioria das áreas do interior, transita para classes críticas com $IH > 3000$, IW acima de 2204 e HSI superior a 32 °C. Estes valores configuram um excesso térmico severo, associado a perda de frescura, degradação dos compostos aromáticos e sobrematuração precoce, o que coloca em causa a viabilidade da vitivinicultura tradicional nestes contextos. As sub-regiões intermédias, como Basto e Vale do Sousa, apresentam também um alargamento expressivo de áreas nas classes de IH entre 2700 e 3000, com stress térmico muito elevado e impacto direto na qualidade enológica e na tipicidade regional. Mesmo em zonas anteriormente consideradas mais estáveis, como Monção-Melgaço e a sub-região do Lima, registam-se aumentos significativos do IH e do HSI , com valores crescentes de IW , indicando a erosão do atual equilíbrio climático e a necessidade de ajustamento das práticas vitivinícolas.

A evolução observada nos dois cenários reflete uma tendência inequívoca de intensificação térmica, com consequências agronómicas e enológicas significativas:

- i. Antecipação do ciclo fenológico, com redução do tempo de maturação e compressão das janelas de vindima;
- ii. Redução da acidez e perda de frescura, comprometendo a identidade sensorial dos vinhos da RDVV;
- iii. Aumento da variabilidade intra-regional, exigindo estratégias de adaptação diferenciadas por sub-região;
- iv. Deslocação do centro de aptidão climática, com potencial emergência de novas zonas vitivinícolas nas áreas de altitude superior ou maior influência atlântica.

Este diagnóstico permite antecipar com detalhe os impactes futuros e sustenta a necessidade urgente de:

- i. Reorientação varietal, com aposta em castas de ciclo mais longo e maior tolerância ao calor;
- ii. Adaptação das práticas culturais, incluindo sombreamento, gestão do solo e poda estratégica;
- iii. Em última instância a revisão das Denominações de Origem, à luz da nova realidade climática;
- iv. Definição de políticas públicas de mitigação e apoio à reconversão vitivinícola.

A utilização conjunta dos índices IH, IW e HSI revela-se uma abordagem robusta e operativa para a avaliação do risco térmico futuro, constituindo uma ferramenta estratégica para a planificação adaptativa da vitivinicultura da Região dos Vinhos Verdes num contexto de alterações climáticas.

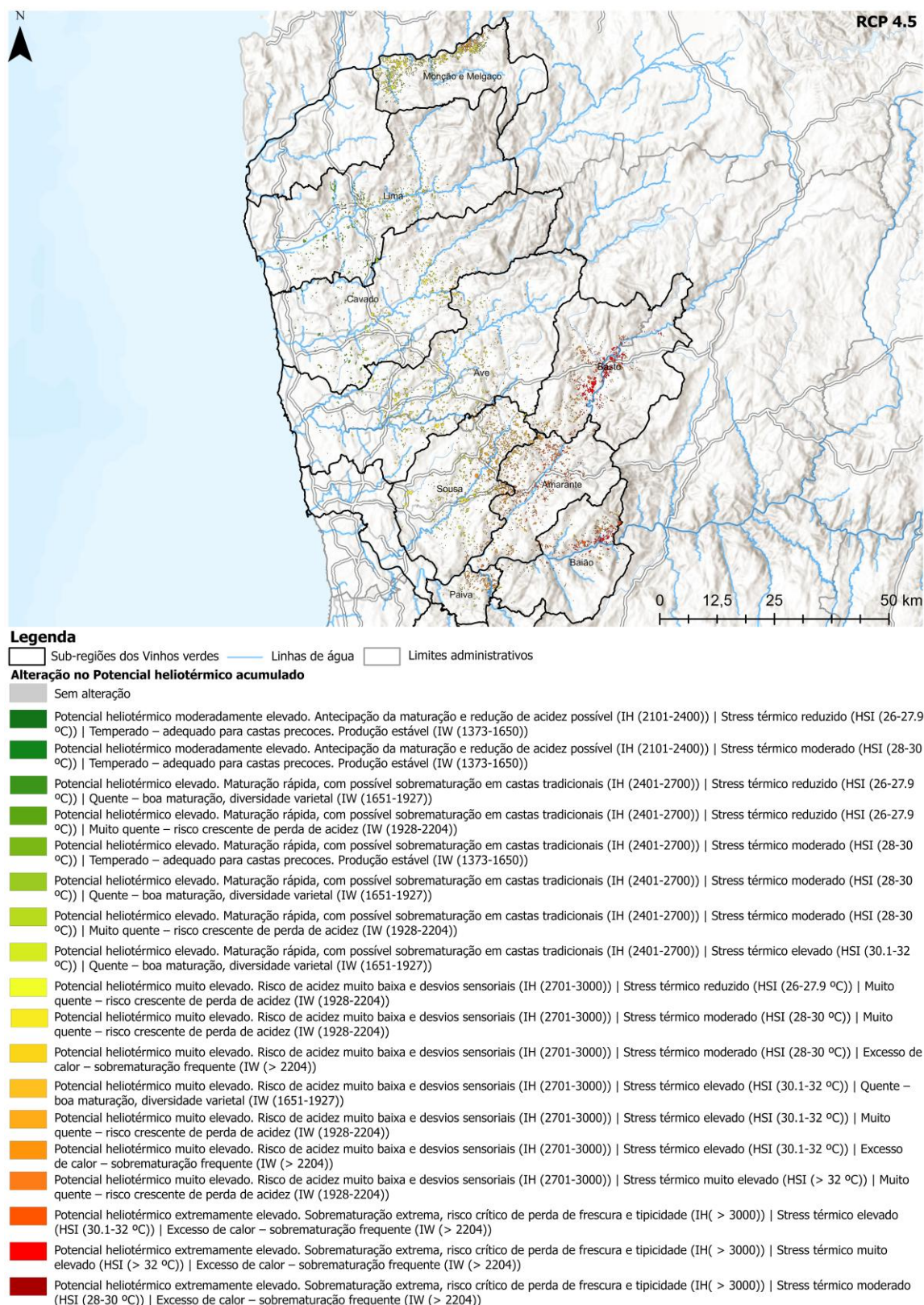


Figura 4.38. Alteração no potencial heliotérmico acumulado no cenário 4.5.

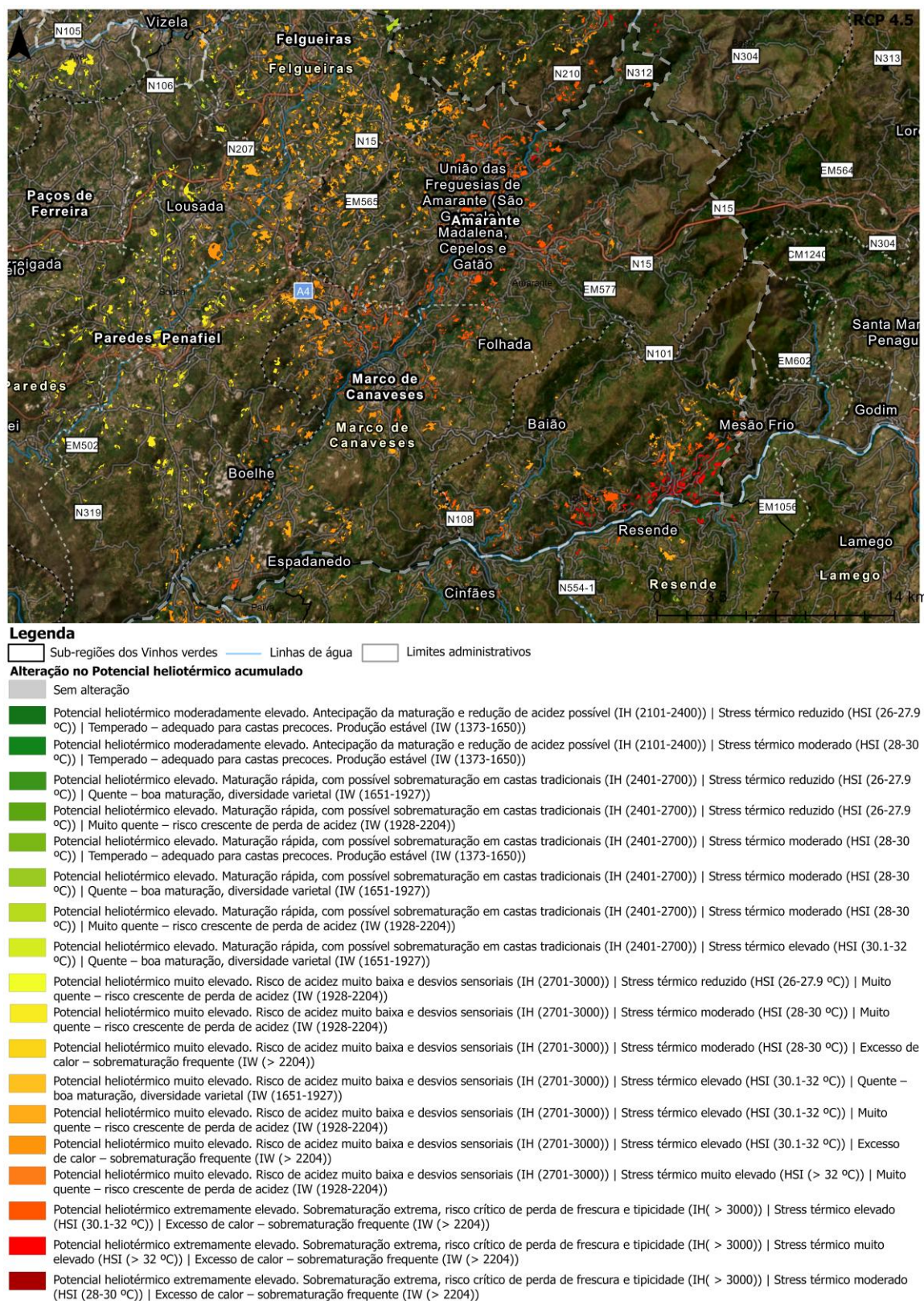


Figura 4.39. Alteração no potencial heliotérmico acumulado no cenário 4.5.

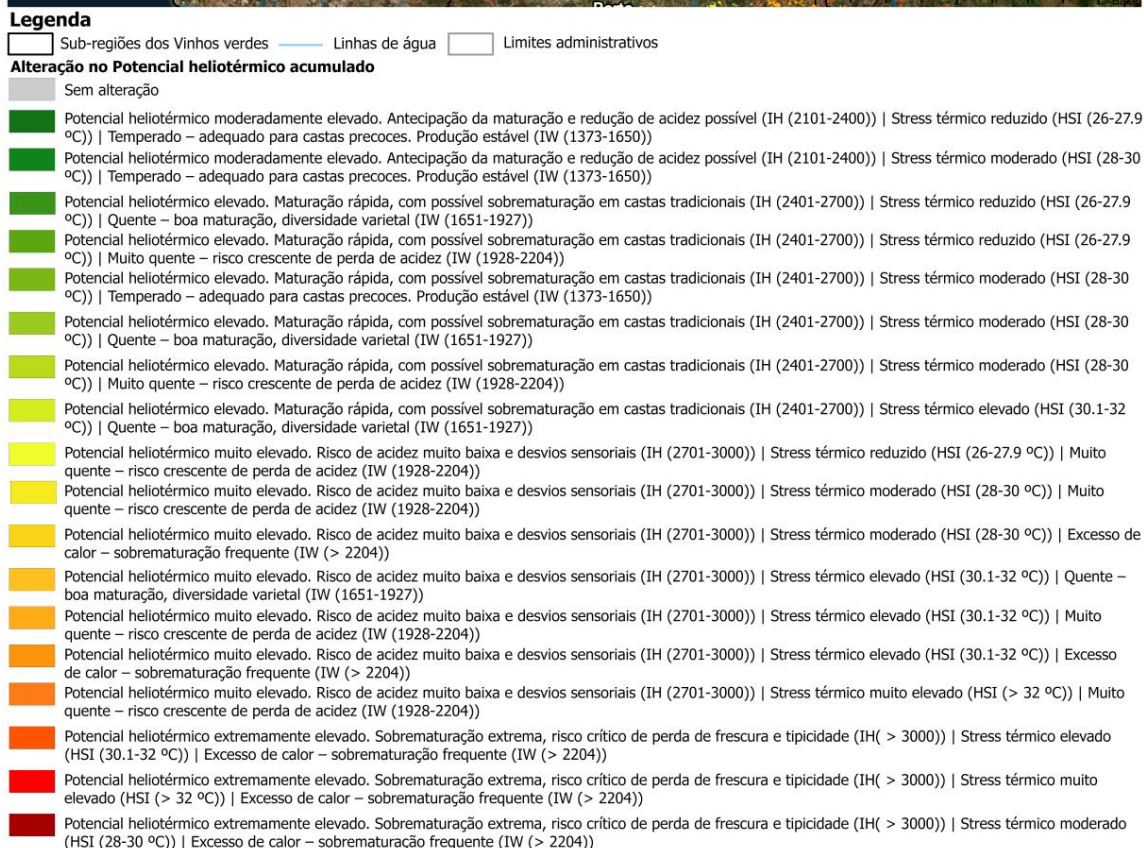
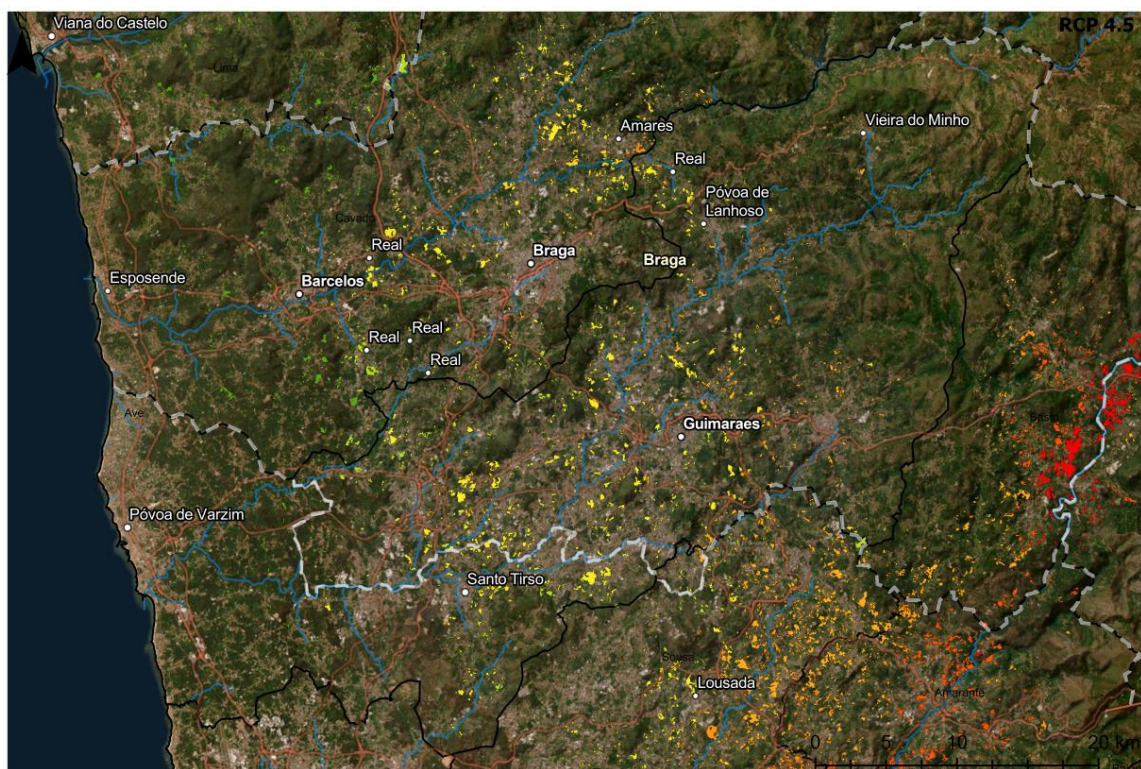


Figura 4.40. Alteração no potencial heliotérmico acumulado no cenário 4.5.

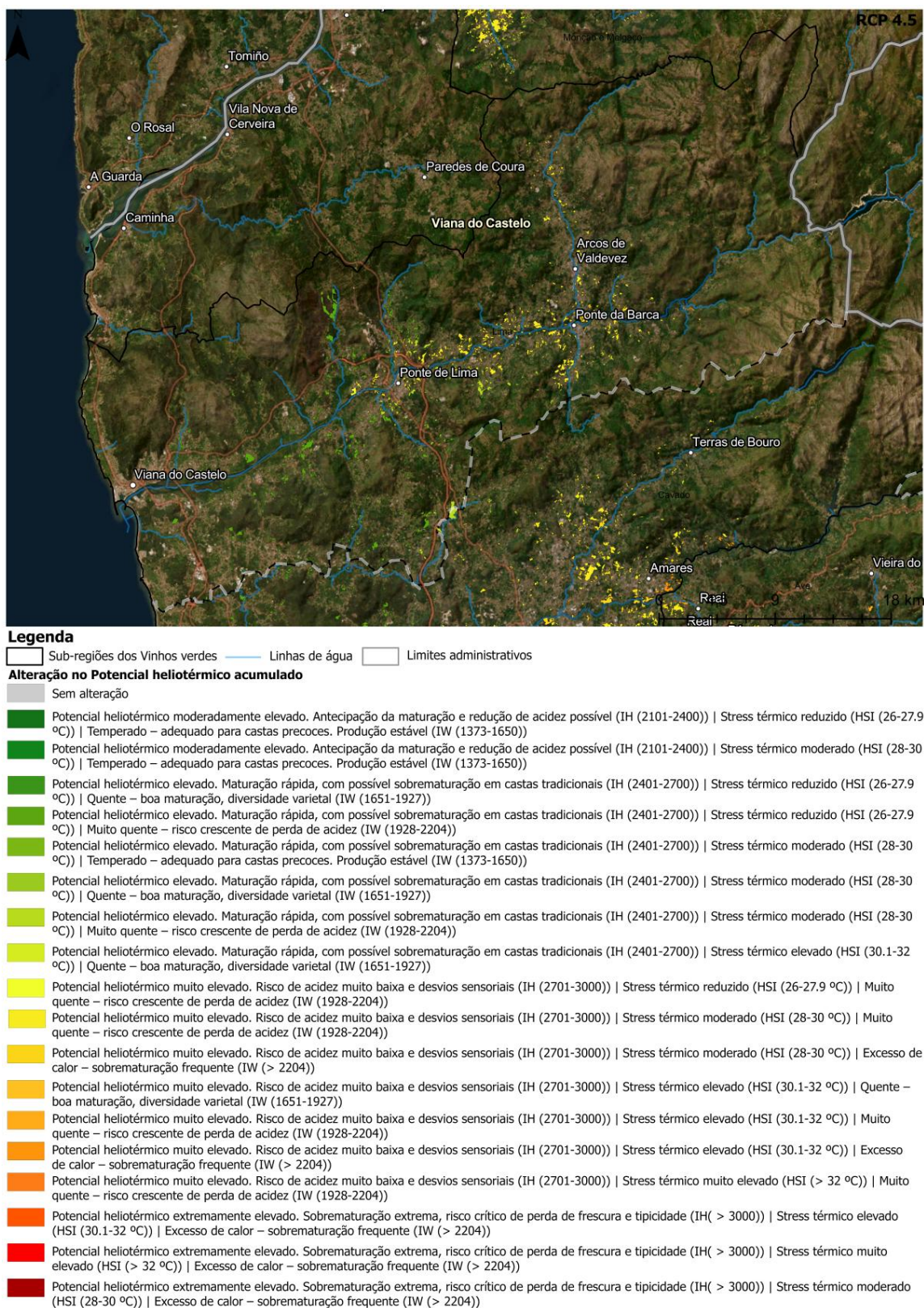


Figura 4.41. Alteração no potencial heliotérmico acumulado no cenário 4.5.

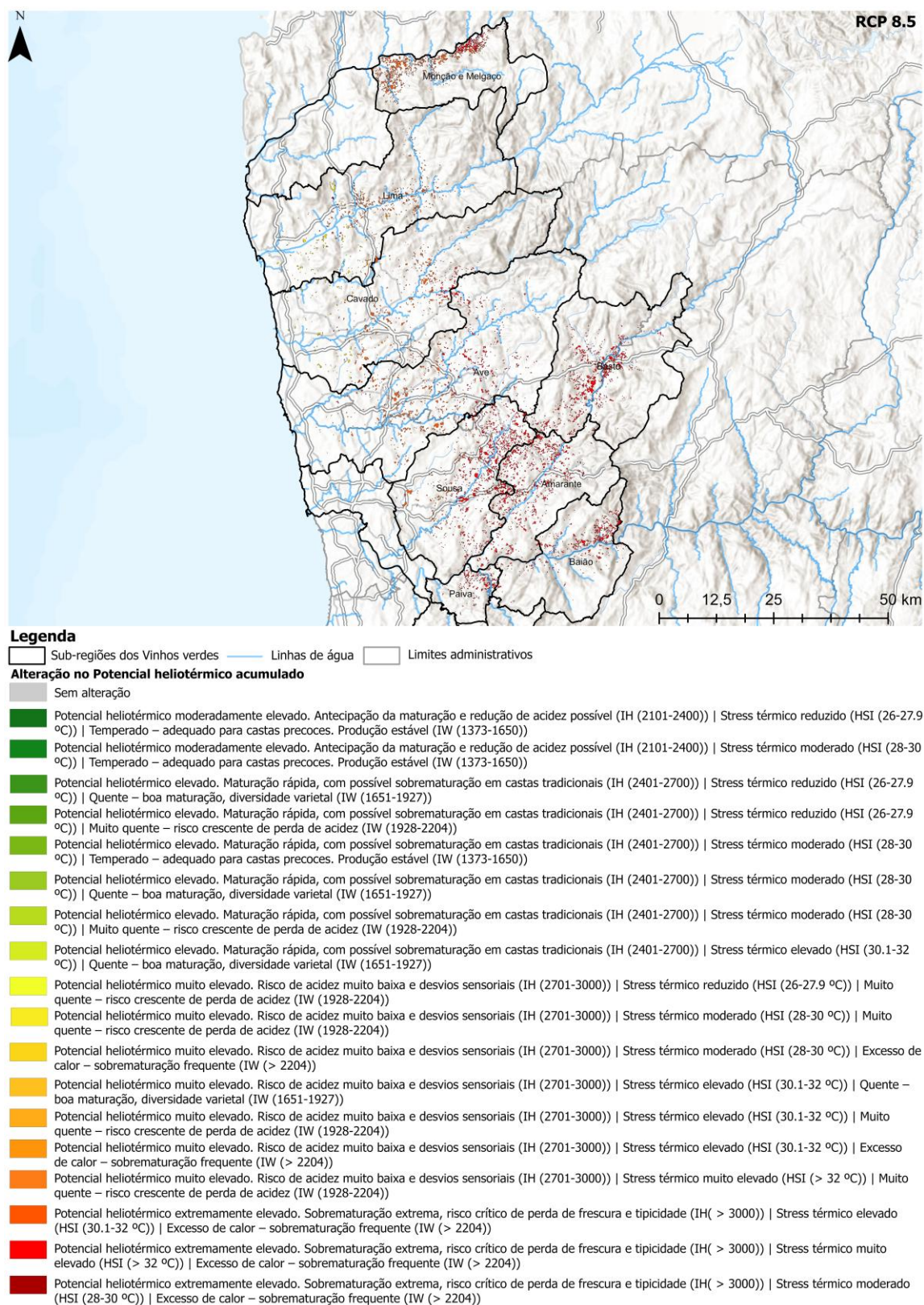


Figura 4.42. Alteração no potencial heliotérmico acumulado no cenário 8.5.

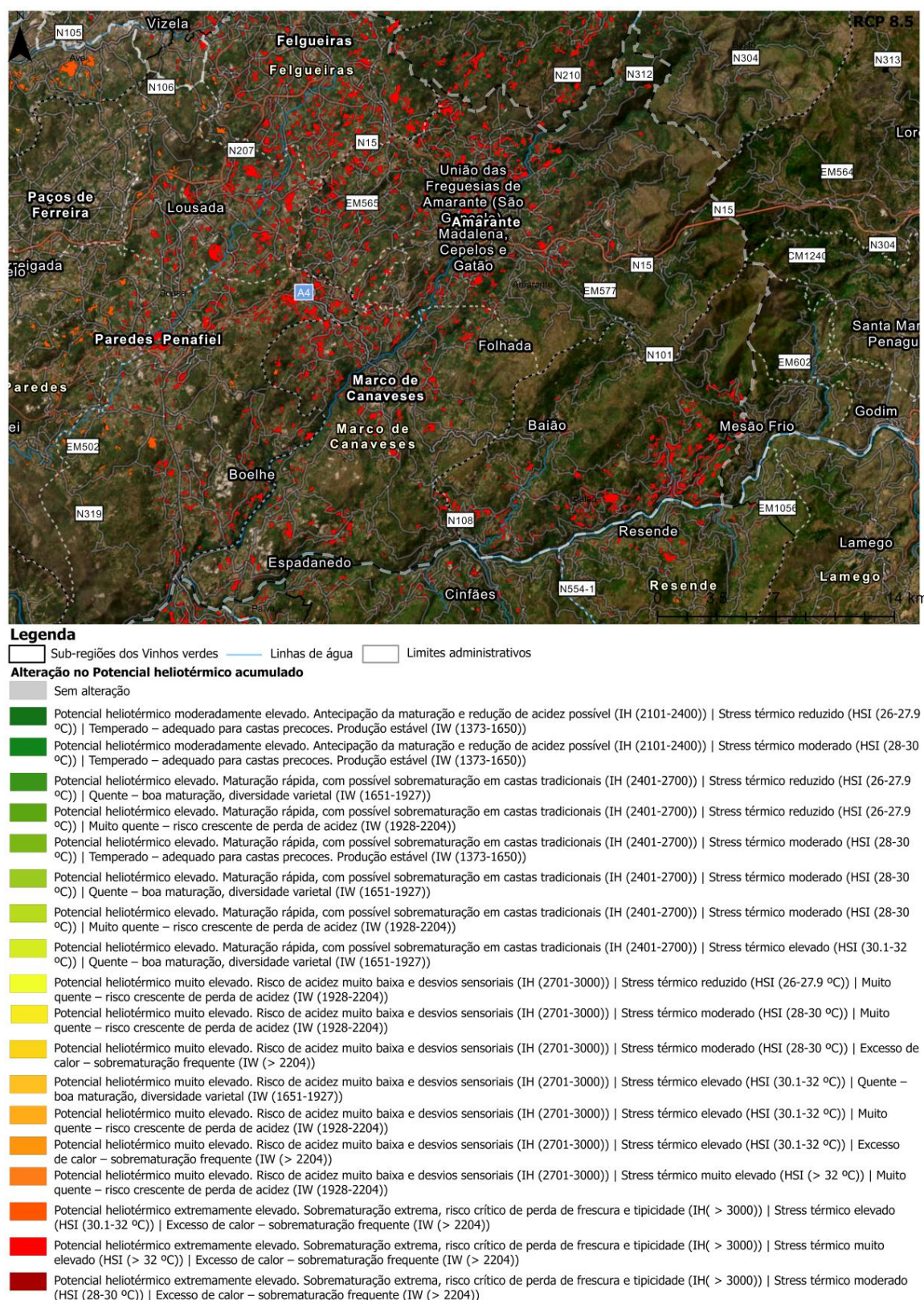


Figura 4.43. Alteração no potencial heliotérmico acumulado no cenário 8.5.

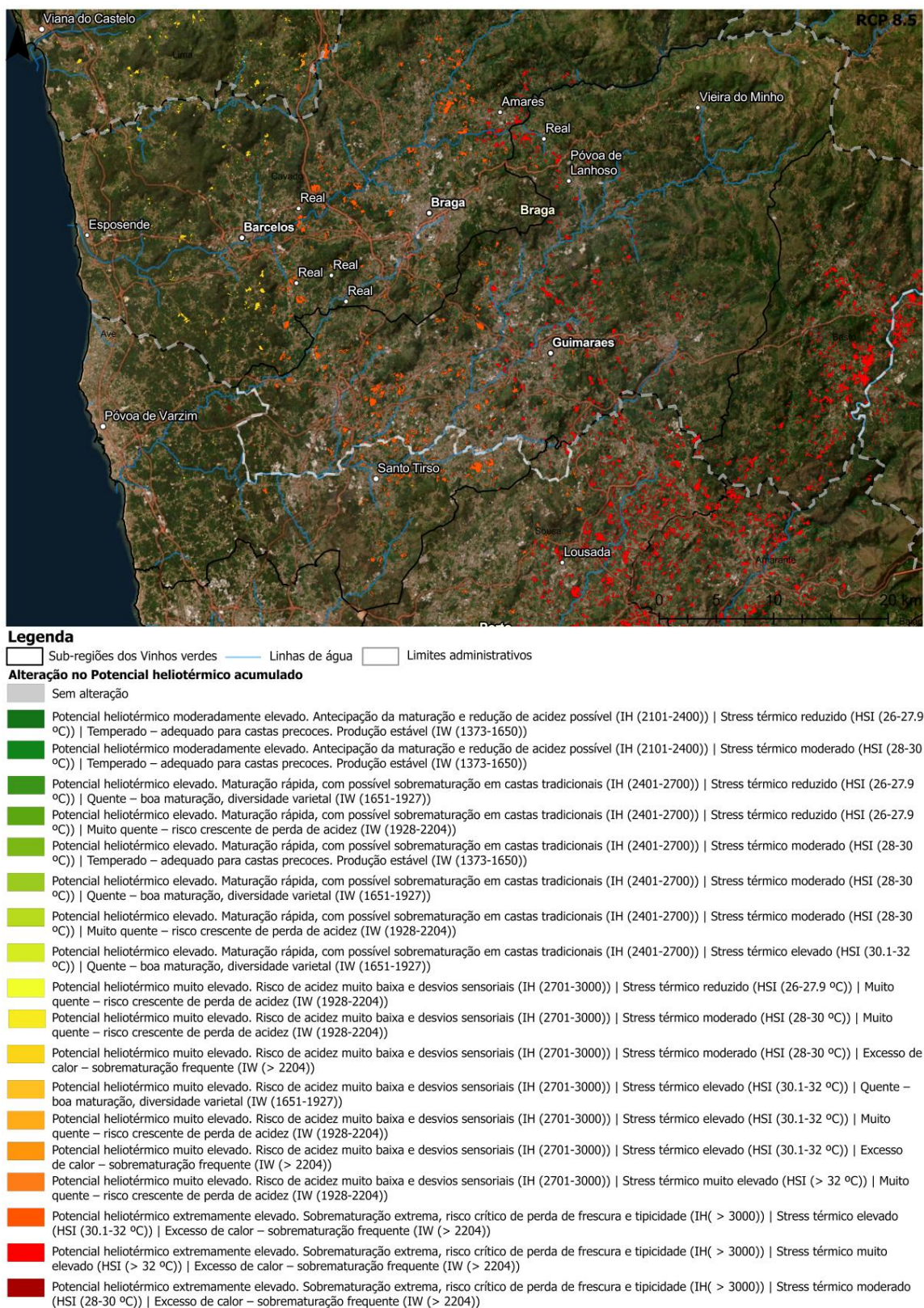


Figura 4.44. Alteração no potencial heliotérmico acumulado no cenário 8.5.

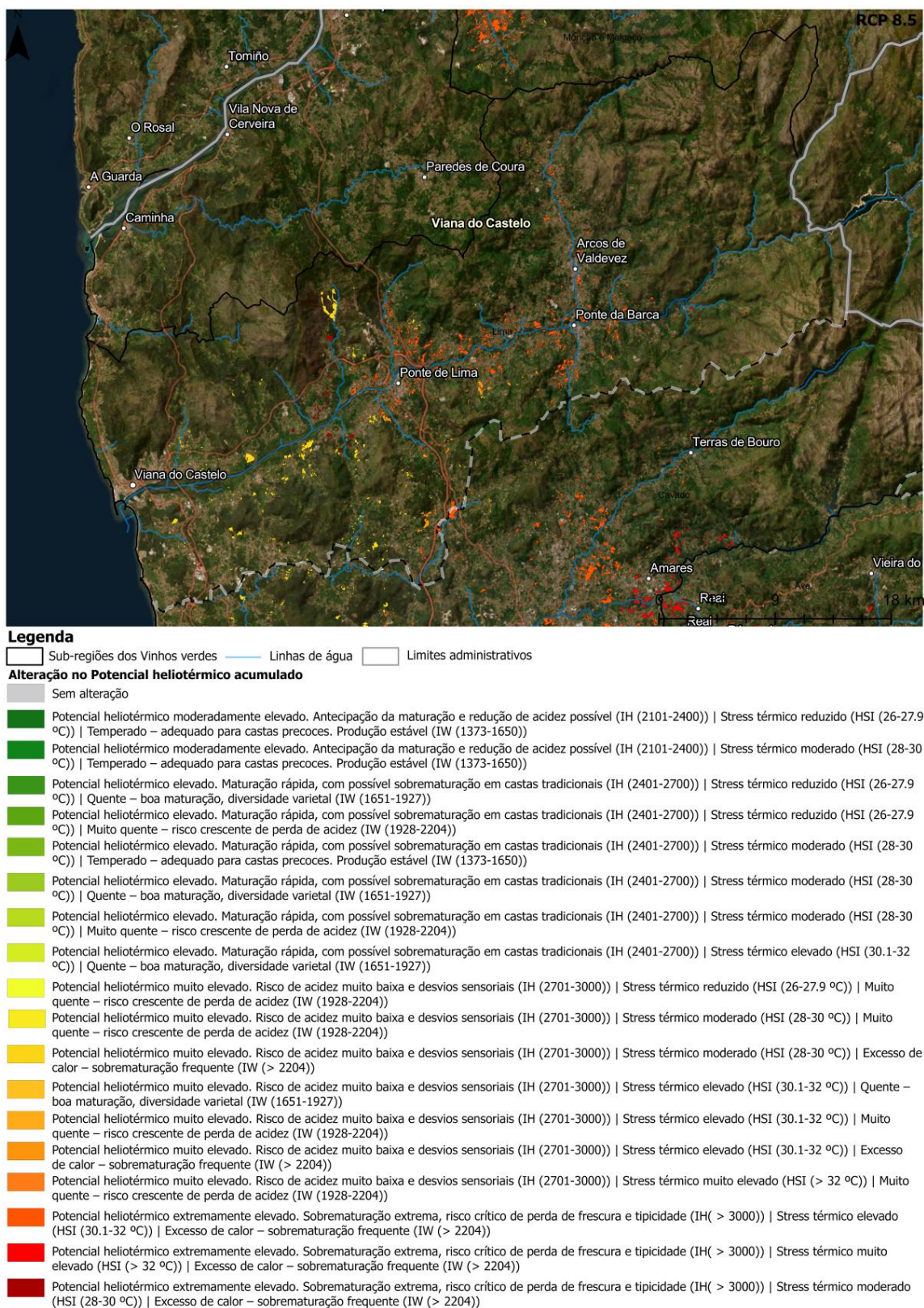


Figura 4.45. Alteração no potencial heliotérmico acumulado no cenário 8.5.

4.5.2. Condições térmicas de maturação

A avaliação das alterações nas condições térmicas de maturação baseou-se na análise conjunta de três variáveis críticas: temperatura média no mês mais quente (ATWM), temperatura média durante o período de maturação (ATHM) e o índice de frescura das noites. Estes indicadores permitem avaliar, com elevado grau de detalhe, a adequação térmica dos diferentes territórios vitivinícolas da Região dos Vinhos Verdes (RDVV) para a maturação fenólica e aromática das castas, em particular no contexto de cenários climáticos futuros.

A interpretação agronómica foi realizada com base em intervalos específicos para cada variável, permitindo identificar zonas com condições ideais, limites de tolerância, ou risco elevado de sobrematuração, perda de frescura e colapso da tipicidade. A análise foi efetuada para os cenários RCP 4.5 (2041–2070) e RCP 8.5 (2071–2100), destacando-se as principais alterações espaciais e os impactos esperados (Figura 4.46 a Figura 4.49) (Anexo 2 - Figura A2.1 a Figura A2.9).

No cenário RCP 4.5 (2041–2070), regista-se uma intensificação térmica moderada nas condições de maturação, com especial incidência nas sub-regiões do interior da Região dos Vinhos Verdes. Nestes territórios, observa-se uma transição progressiva de áreas anteriormente enquadradas em classes ATWM de 22.1–24.0 °C para classes mais elevadas, entre 24.1–26.0 °C, frequentemente associadas a valores de ATHM superiores a 22 °C e IFN acima de 18 °C. Este novo regime térmico favorece uma maturação acelerada, reduz a acidez natural das uvas e promove a degradação dos compostos aromáticos, comprometendo o equilíbrio sensorial e a tipicidade dos vinhos. As zonas mais afetadas localizam-se nos vales interiores do Sousa e do Tâmega, em particular nas cotas mais baixas das sub-regiões de Amarante e Baião, onde se verifica uma redução significativa da amplitude térmica noturna, expressa em valores elevados do Índice de Frescura Noturna (IFN > 18 °C), patamar acima do qual se observa uma perda acentuada da complexidade aromática das castas. Em contraste, sub-regiões como Monção-Melgaço, Lima e Cávado mantêm predominantemente classes ATWM entre 20.1 e 22.0 °C ou 22.1–24.0 °C, com valores de IFN inferiores a 18 °C. Estas condições continuam a ser compatíveis com maturação equilibrada, preservação da acidez e expressão varietal, embora se observem sinais de redução da frescura noturna, nomeadamente nas zonas de transição para cotas mais baixas ou expostas a sul.

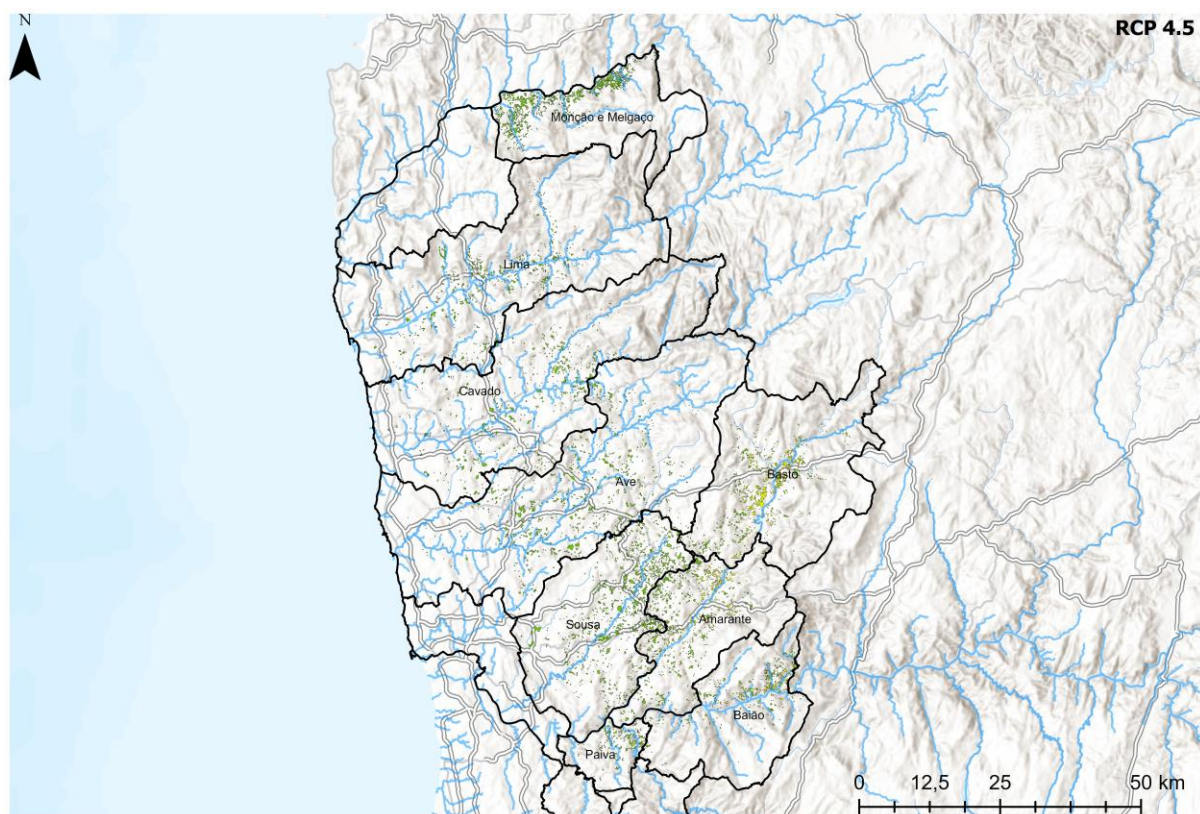
O cenário 4.5, apesar de mais moderado, revela já zonas de alerta na faixa sudeste da região, com presença de pixels em classes críticas ($ATWM > 24\text{ }^{\circ}\text{C}$), onde a maturação acelerada pode comprometer a integridade tecnológica e sensorial das uvas. Este contexto exige planeamento agronómico preventivo, particularmente ao nível da data de colheita, proteção da copa e potencial reavaliação das castas em uso.

O cenário 8.5 evidencia uma intensificação térmica generalizada e agravada, que afeta de forma severa todas as sub-regiões da RDVV, com particular impacto nas zonas de menor altitude e maior interioridade. A maioria das áreas de vinha do interior passa a registar valores de $ATWM$ superiores a $24\text{ }^{\circ}\text{C}$, sendo frequentes as classes $26.1\text{--}28.0\text{ }^{\circ}\text{C}$, associadas a $ATHM > 24\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $IFN > 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ — um conjunto de condições claramente desfavorável à produção de vinhos frescos, equilibrados e aromáticos. As Sub-regiões como Amarante, Sousa, Baião, Paiva e Amarante apresentam um domínio quase absoluto de classes de risco, com colapso da amplitude térmica noturna e maturação acelerada, que poderá obrigar à reconversão profunda do sistema vitivinícola. A presença de zonas classificadas como “sobrematuração precoce com perda de tipicidade” sugere um futuro onde a vitivinicultura tradicional poderá tornar-se inviável sem adaptação (Figura 4.50 a Figura 4.53) (Anexo II - Figura A2.10 a Figura A2.18). Mesmo em áreas até agora resilientes como o Vale do Lima, Monção-Melgaço e Cávado observa-se a disseminação de classes térmicas superiores, com impacto crescente na maturação. Em Monção-Melgaço, por exemplo, já se identificam zonas com $ATWM > 24\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $IFN \geq 18\text{ }^{\circ}\text{C}$, particularmente nas encostas mais expostas e de cota mais baixa, o que compromete a expressão aromática característica das castas Alvarinho e Trajadura.

A homogeneização térmica ascendente observada no cenário RCP 8.5 poderá implicar:

- i. Perda da identidade territorial e da diversidade estilística intra-regional;
- ii. Redução acentuada do tempo ótimo de colheita, dificultando a logística da vindima;
- iii. Maior vulnerabilidade a eventos extremos, como ondas de calor em pré-colheita;
- iv. Elevação dos custos de produção devido à necessidade de irrigação, sombreamento e novos sistemas de condução.

A evolução dos parâmetros térmicos de maturação revela um cenário de transição crítica, em que a vitivinicultura da Região dos Vinhos Verdes será progressivamente confrontada com a erosão das condições naturais que sustentam a sua tipicidade.



Legenda

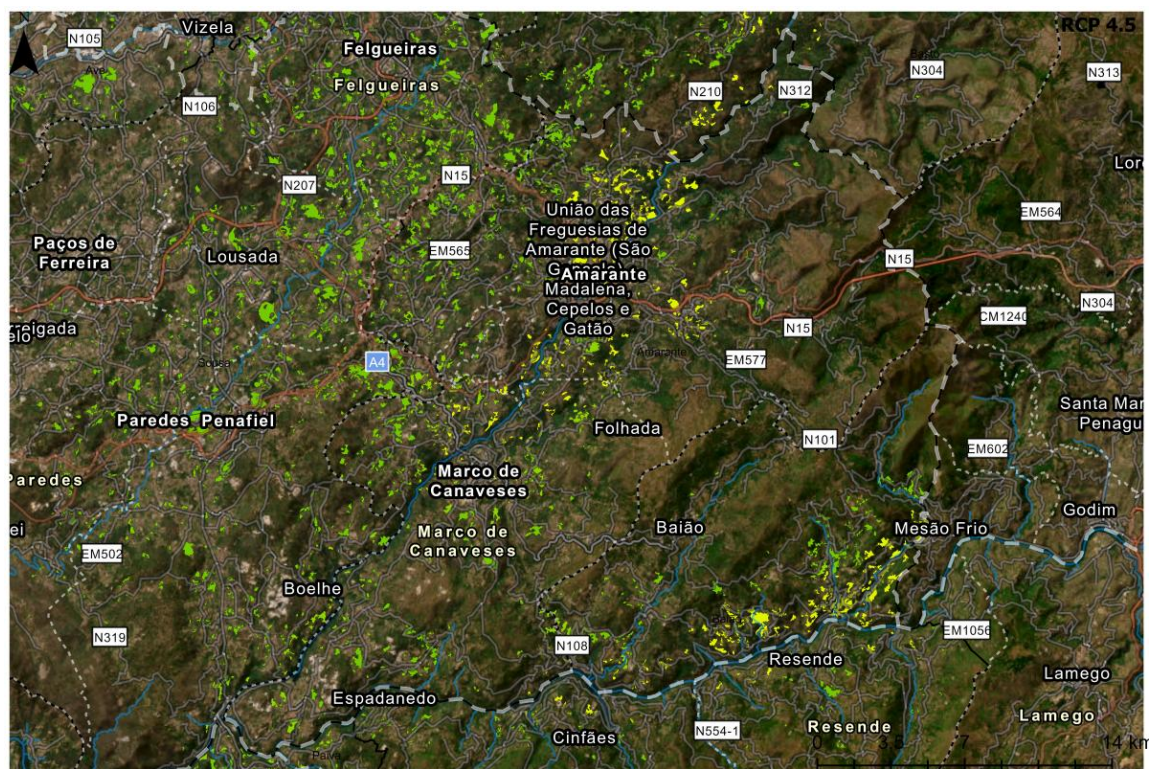
Sub-regiões dos Vinhos verdes Linhas de água Limites administrativos

Alteração nas condições térmicas de maturação

Sem alteração

- Leve défice térmico, ainda compatível com maturação satisfatória (ATWM (20.1-22 °C)) | Ligeiramente fresco. Preserva acidez e favorece qualidade fenólica (ATHM (18.1-20 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Leve défice térmico, ainda compatível com maturação satisfatória (ATWM (20.1-22 °C)) | Intervalo ideal. Maturação equilibrada com ligeira perda de acidez possível (ATHM (20.1-22 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Intervalo térmico ideal para a maturação equilibrada das castas regionais (ATWM (22.1-24 °C)) | Ligeiramente fresco. Preserva acidez e favorece qualidade fenólica (ATHM (18.1-20 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Intervalo térmico ideal para a maturação equilibrada das castas regionais (ATWM (22.1-24 °C)) | Intervalo ideal. Maturação equilibrada com ligeira perda de acidez possível (ATHM (20.1-22 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Intervalo térmico ideal para a maturação equilibrada das castas regionais (ATWM (22.1-24 °C)) | Temperatura ligeiramente superior ao intervalo ideal. Pode exigir antecipação da vindima (ATHM (22.1-24 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Intervalo térmico ideal para a maturação equilibrada das castas regionais (ATWM (22.1-24 °C)) | Temperatura ligeiramente superior ao intervalo ideal. Pode exigir antecipação da vindima (ATHM (22.1-24 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))
- Leve excesso térmico compromete parcialmente a frescura e complexidade aromática (ATWM (24.1-26 °C)) | Intervalo ideal. Maturação equilibrada com ligeira perda de acidez possível (ATHM (20.1-22 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Leve excesso térmico compromete parcialmente a frescura e complexidade aromática (ATWM (24.1-26 °C)) | Temperatura ligeiramente superior ao intervalo ideal. Pode exigir antecipação da vindima (ATHM (22.1-24 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Leve excesso térmico compromete parcialmente a frescura e complexidade aromática (ATWM (24.1-26 °C)) | Temperatura ligeiramente superior ao intervalo ideal. Pode exigir antecipação da vindima (ATHM (22.1-24 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))
- Leve excesso térmico compromete parcialmente a frescura e complexidade aromática (ATWM (24.1-26 °C)) | Moderadamente quente. Maturação acelerada que pode comprometer o equilíbrio álcool/acidez (ATHM (24.1-26 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))
- Leve excesso térmico compromete parcialmente a frescura e complexidade aromática (ATWM (24.1-26 °C)) | Moderadamente quente. Maturação acelerada que pode comprometer o equilíbrio álcool/acidez (ATHM (24.1-26 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Temperaturas moderadamente elevadas podem provocar desequilíbrio fenológico e perda de tipicidade (ATWM (26.1-28 °C)) | Temperatura ligeiramente superior ao intervalo ideal. Pode exigir antecipação da vindima (ATHM (22.1-24 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))
- Temperaturas moderadamente elevadas podem provocar desequilíbrio fenológico e perda de tipicidade (ATWM (26.1-28 °C)) | Temperatura ligeiramente superior ao intervalo ideal. Pode exigir antecipação da vindima (ATHM (22.1-24 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Temperaturas moderadamente elevadas podem provocar desequilíbrio fenológico e perda de tipicidade (ATWM (26.1-28 °C)) | Moderadamente quente. Maturação acelerada que pode comprometer o equilíbrio álcool/acidez (ATHM (24.1-26 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))
- Temperaturas moderadamente elevadas podem provocar desequilíbrio fenológico e perda de tipicidade (ATWM (26.1-28 °C)) | Moderadamente quente. Maturação acelerada que pode comprometer o equilíbrio álcool/acidez (ATHM (24.1-26 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))
- Temperaturas moderadamente elevadas podem provocar desequilíbrio fenológico e perda de tipicidade (ATWM (26.1-28 °C)) | Quente. Sobrematuração provável e risco de perda de frescura (ATHM (26.1-28 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))
- Temperaturas elevadas induzem sobrematuração, exigindo vindima antecipada (ATWM (28.1-30 °C)) | Quente. Sobrematuração provável e risco de perda de frescura (ATHM (26.1-28 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))

Figura 4.46. Alteração das condições térmicas de maturação RCP 4.5.



Legenda

Sub-regiões dos Vinhos verdes Linhas de água Limites administrativos

Alteração nas condições térmicas de maturação

Sem alteração

- Leve défice térmico, ainda compatível com maturação satisfatória (ATWM (20.1-22 °C)) | Ligeiramente fresco. Preserva acidez e favorece qualidade fenólica (ATHM (18.1-20 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Leve défice térmico, ainda compatível com maturação satisfatória (ATWM (20.1-22 °C)) | Intervalo ideal. Maturação equilibrada com ligeira perda de acidez possível (ATHM (20.1-22 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Intervalo térmico ideal para a maturação equilibrada das castas regionais (ATWM (22.1-24 °C)) | Ligeiramente fresco. Preserva acidez e favorece qualidade fenólica (ATHM (18.1-20 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Intervalo térmico ideal para a maturação equilibrada das castas regionais (ATWM (22.1-24 °C)) | Intervalo ideal. Maturação equilibrada com ligeira perda de acidez possível (ATHM (20.1-22 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Intervalo térmico ideal para a maturação equilibrada das castas regionais (ATWM (22.1-24 °C)) | Temperatura ligeiramente superior ao intervalo ideal. Pode exigir antecipação da vindima (ATHM (22.1-24 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Intervalo térmico ideal para a maturação equilibrada das castas regionais (ATWM (22.1-24 °C)) | Temperatura ligeiramente superior ao intervalo ideal. Pode exigir antecipação da vindima (ATHM (22.1-24 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))
- Leve excesso térmico compromete parcialmente a frescura e complexidade aromática (ATWM (24.1-26 °C)) | Intervalo ideal. Maturação equilibrada com ligeira perda de acidez possível (ATHM (20.1-22 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Leve excesso térmico compromete parcialmente a frescura e complexidade aromática (ATWM (24.1-26 °C)) | Temperatura ligeiramente superior ao intervalo ideal. Pode exigir antecipação da vindima (ATHM (22.1-24 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))
- Leve excesso térmico compromete parcialmente a frescura e complexidade aromática (ATWM (24.1-26 °C)) | Moderadamente quente. Maturação acelerada que pode comprometer o equilíbrio álcool/acidez (ATHM (24.1-26 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))
- Leve excesso térmico compromete parcialmente a frescura e complexidade aromática (ATWM (24.1-26 °C)) | Moderadamente quente. Maturação acelerada que pode comprometer o equilíbrio álcool/acidez (ATHM (24.1-26 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Temperaturas moderadamente elevadas podem provocar desequilíbrio fenológico e perda de tipicidade (ATWM (26.1-28 °C)) | Temperatura ligeiramente superior ao intervalo ideal. Pode exigir antecipação da vindima (ATHM (22.1-24 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))
- Temperaturas moderadamente elevadas podem provocar desequilíbrio fenológico e perda de tipicidade (ATWM (26.1-28 °C)) | Temperatura ligeiramente superior ao intervalo ideal. Pode exigir antecipação da vindima (ATHM (22.1-24 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Temperaturas moderadamente elevadas podem provocar desequilíbrio fenológico e perda de tipicidade (ATWM (26.1-28 °C)) | Moderadamente quente. Maturação acelerada que pode comprometer o equilíbrio álcool/acidez (ATHM (24.1-26 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Temperaturas moderadamente elevadas podem provocar desequilíbrio fenológico e perda de tipicidade (ATWM (26.1-28 °C)) | Moderadamente quente. Maturação acelerada que pode comprometer o equilíbrio álcool/acidez (ATHM (24.1-26 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))
- Temperaturas moderadamente elevadas podem provocar desequilíbrio fenológico e perda de tipicidade (ATWM (26.1-28 °C)) | Quente. Sobrematuração provável e risco de perda de frescura (ATHM (26.1-28 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))
- Temperaturas elevadas induzem sobrematuração, exigindo vindima antecipada (ATWM (28.1-30 °C)) | Quente. Sobrematuração provável e risco de perda de frescura (ATHM (26.1-28 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))

Figura 4.47. Alteração das condições térmicas de maturação RCP 4.5.

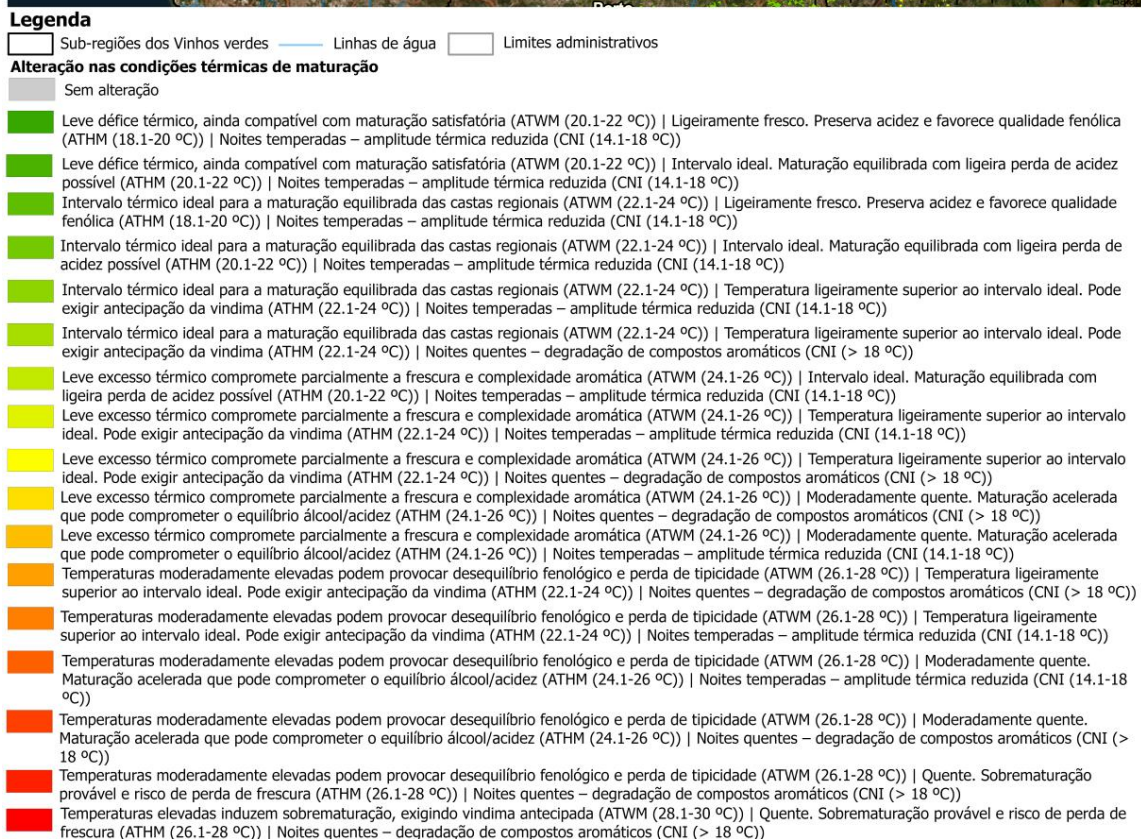
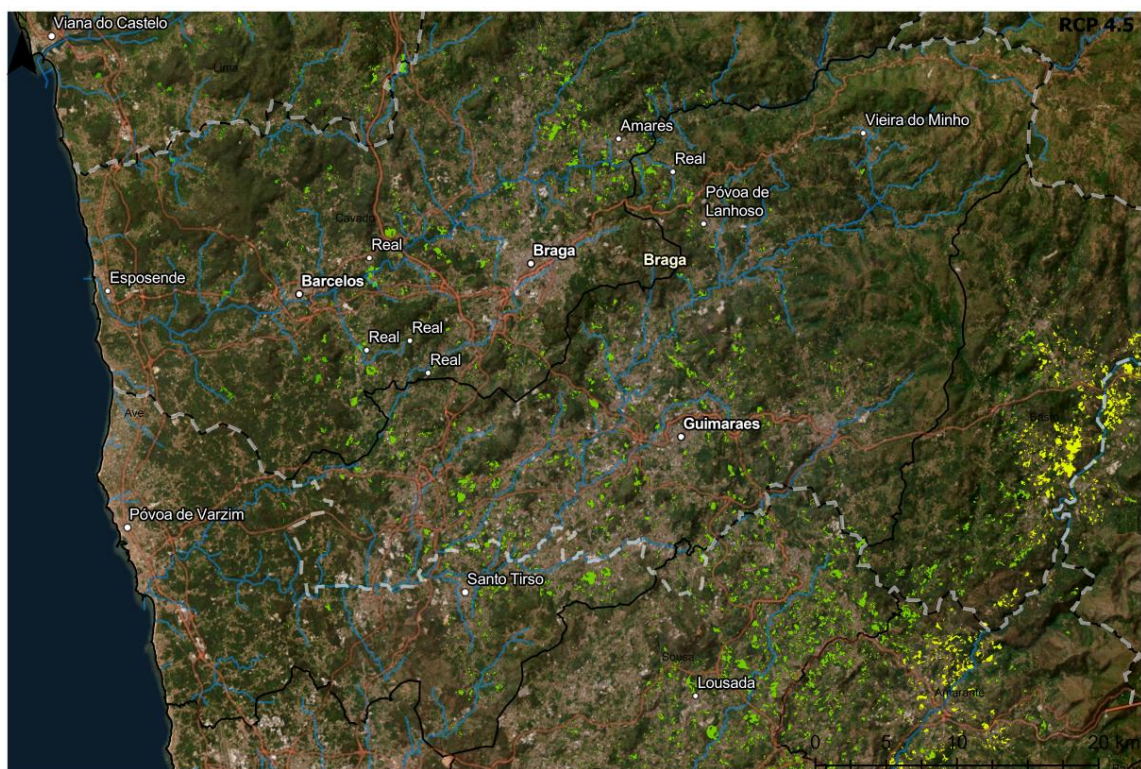


Figura 4.48. Alteração das condições térmicas de maturação RCP 4.5.

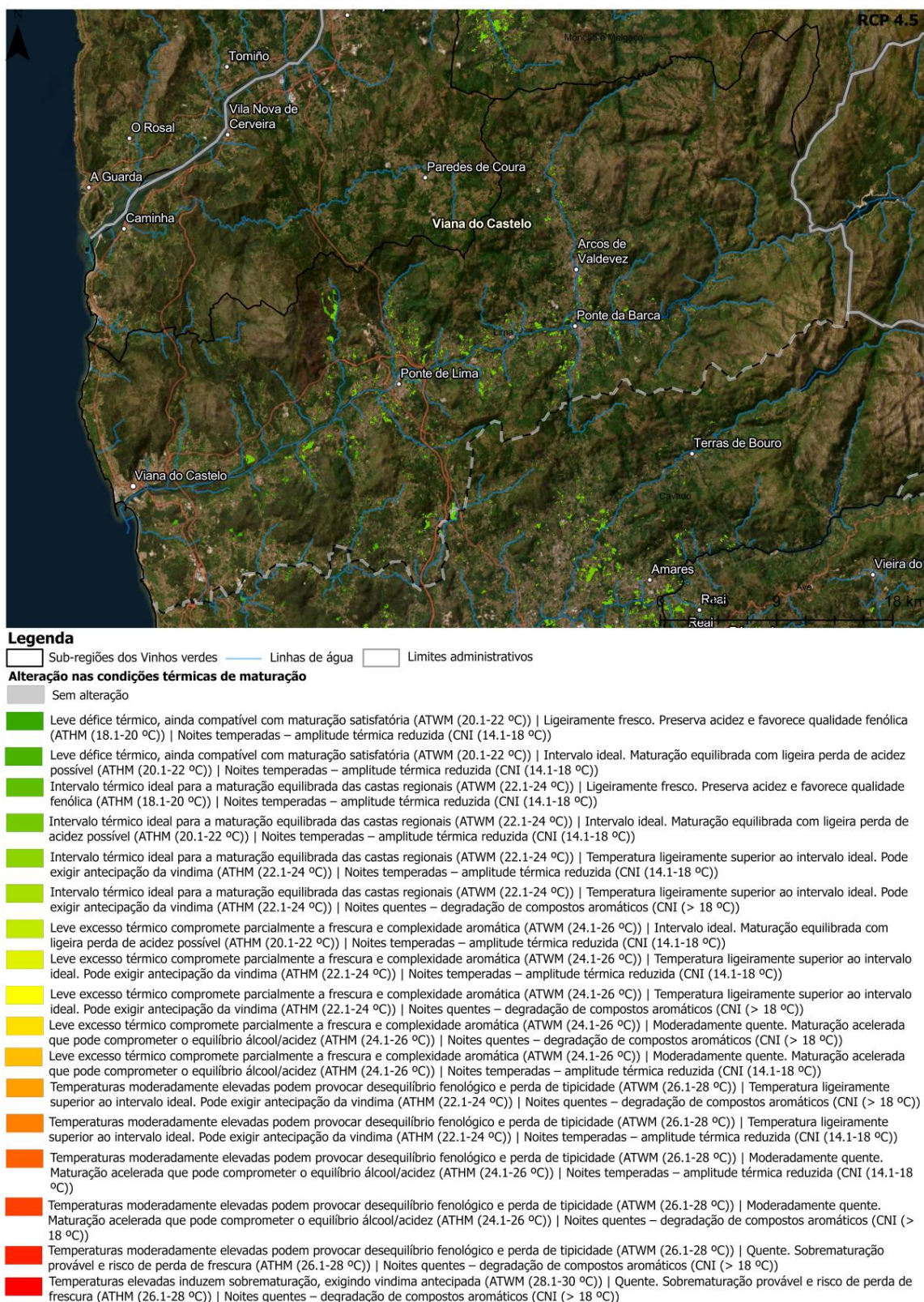


Figura 4.49. Alteração das condições térmicas de maturação RCP 4.5.

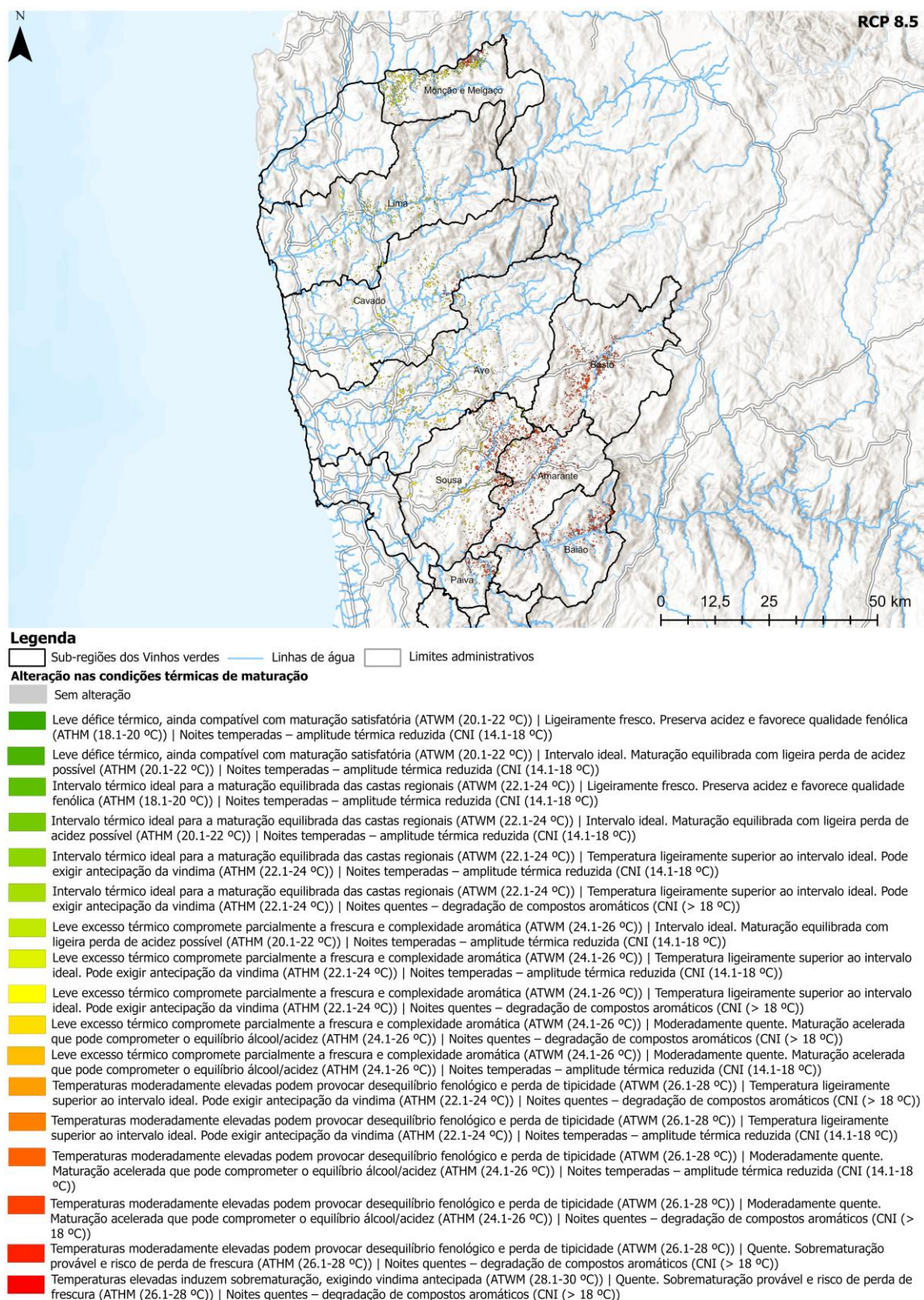
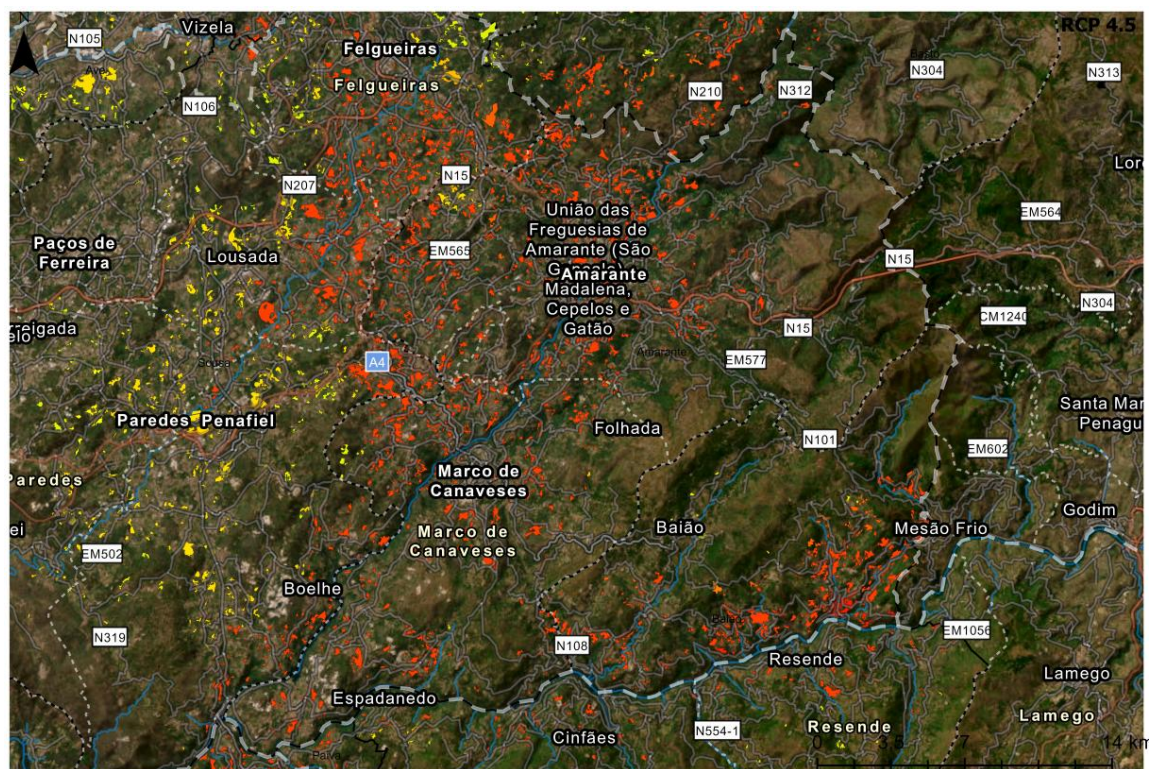


Figura 4.50. Alteração das condições térmicas de maturação RCP 8.5.



Legenda

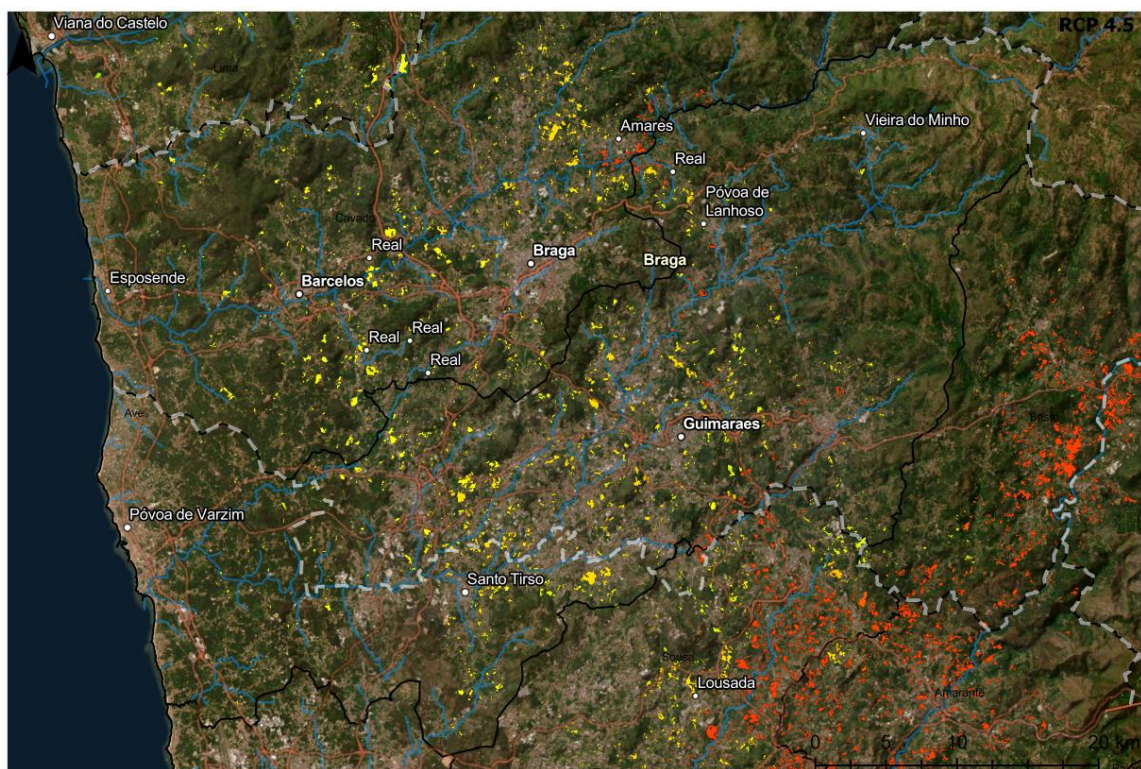
Sub-regiões dos Vinhos verdes Linhas de água Limites administrativos

Alteração nas condições térmicas de maturação

Sem alteração

- Leve défice térmico, ainda compatível com maturação satisfatória (ATWM (20.1-22 °C)) | Ligeiramente fresco. Preserva acidez e favorece qualidade fenólica (ATHM (18.1-20 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Leve défice térmico, ainda compatível com maturação satisfatória (ATWM (20.1-22 °C)) | Intervalo ideal. Maturação equilibrada com ligeira perda de acidez possível (ATHM (20.1-22 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Intervalo térmico ideal para a maturação equilibrada das castas regionais (ATWM (22.1-24 °C)) | Ligeiramente fresco. Preserva acidez e favorece qualidade fenólica (ATHM (18.1-20 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Intervalo térmico ideal para a maturação equilibrada das castas regionais (ATWM (22.1-24 °C)) | Intervalo ideal. Maturação equilibrada com ligeira perda de acidez possível (ATHM (20.1-22 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Intervalo térmico ideal para a maturação equilibrada das castas regionais (ATWM (22.1-24 °C)) | Temperatura ligeiramente superior ao intervalo ideal. Pode exigir antecipação da vindima (ATHM (22.1-24 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Intervalo térmico ideal para a maturação equilibrada das castas regionais (ATWM (22.1-24 °C)) | Temperatura ligeiramente superior ao intervalo ideal. Pode exigir antecipação da vindima (ATHM (22.1-24 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))
- Leve excesso térmico compromete parcialmente a frescura e complexidade aromática (ATWM (24.1-26 °C)) | Intervalo ideal. Maturação equilibrada com ligeira perda de acidez possível (ATHM (20.1-22 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Leve excesso térmico compromete parcialmente a frescura e complexidade aromática (ATWM (24.1-26 °C)) | Temperatura ligeiramente superior ao intervalo ideal. Pode exigir antecipação da vindima (ATHM (22.1-24 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))
- Leve excesso térmico compromete parcialmente a frescura e complexidade aromática (ATWM (24.1-26 °C)) | Moderadamente quente. Maturação acelerada que pode comprometer o equilíbrio álcool/acidez (ATHM (24.1-26 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))
- Leve excesso térmico compromete parcialmente a frescura e complexidade aromática (ATWM (24.1-26 °C)) | Moderadamente quente. Maturação acelerada que pode comprometer o equilíbrio álcool/acidez (ATHM (24.1-26 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Temperaturas moderadamente elevadas podem provocar desequilíbrio fenológico e perda de tipicidade (ATWM (26.1-28 °C)) | Temperatura ligeiramente superior ao intervalo ideal. Pode exigir antecipação da vindima (ATHM (22.1-24 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))
- Temperaturas moderadamente elevadas podem provocar desequilíbrio fenológico e perda de tipicidade (ATWM (26.1-28 °C)) | Temperatura ligeiramente superior ao intervalo ideal. Pode exigir antecipação da vindima (ATHM (22.1-24 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Temperaturas moderadamente elevadas podem provocar desequilíbrio fenológico e perda de tipicidade (ATWM (26.1-28 °C)) | Moderadamente quente. Maturação acelerada que pode comprometer o equilíbrio álcool/acidez (ATHM (24.1-26 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Temperaturas moderadamente elevadas podem provocar desequilíbrio fenológico e perda de tipicidade (ATWM (26.1-28 °C)) | Moderadamente quente. Maturação acelerada que pode comprometer o equilíbrio álcool/acidez (ATHM (24.1-26 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))
- Temperaturas moderadamente elevadas podem provocar desequilíbrio fenológico e perda de tipicidade (ATWM (26.1-28 °C)) | Quente. Sobrematuração provável e risco de perda de frescura (ATHM (26.1-28 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))
- Temperaturas elevadas induzem sobrematuração, exigindo vindima antecipada (ATWM (28.1-30 °C)) | Quente. Sobrematuração provável e risco de perda de frescura (ATHM (26.1-28 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))

Figura 4.51. Alteração das condições térmicas de maturação RCP 8.5.



Legenda

Sub-regiões dos Vinhos verdes Linhas de água Limites administrativos

Alteração nas condições térmicas de maturação

Sem alteração

- Leve défice térmico, ainda compatível com maturação satisfatória (ATWM (20.1-22 °C)) | Ligeiramente fresco. Preserva acidez e favorece qualidade fenólica (ATHM (18.1-20 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Leve défice térmico, ainda compatível com maturação satisfatória (ATWM (20.1-22 °C)) | Intervalo ideal. Maturação equilibrada com ligeira perda de acidez possível (ATHM (20.1-22 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Intervalo térmico ideal para a maturação equilibrada das castas regionais (ATWM (22.1-24 °C)) | Ligeiramente fresco. Preserva acidez e favorece qualidade fenólica (ATHM (18.1-20 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Intervalo térmico ideal para a maturação equilibrada das castas regionais (ATWM (22.1-24 °C)) | Intervalo ideal. Maturação equilibrada com ligeira perda de acidez possível (ATHM (20.1-22 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Intervalo térmico ideal para a maturação equilibrada das castas regionais (ATWM (22.1-24 °C)) | Temperatura ligeiramente superior ao intervalo ideal. Pode exigir antecipação da vindima (ATHM (22.1-24 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Intervalo térmico ideal para a maturação equilibrada das castas regionais (ATWM (22.1-24 °C)) | Temperatura ligeiramente superior ao intervalo ideal. Pode exigir antecipação da vindima (ATHM (22.1-24 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))
- Leve excesso térmico compromete parcialmente a frescura e complexidade aromática (ATWM (24.1-26 °C)) | Intervalo ideal. Maturação equilibrada com ligeira perda de acidez possível (ATHM (20.1-22 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Leve excesso térmico compromete parcialmente a frescura e complexidade aromática (ATWM (24.1-26 °C)) | Temperatura ligeiramente superior ao intervalo ideal. Pode exigir antecipação da vindima (ATHM (22.1-24 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))
- Leve excesso térmico compromete parcialmente a frescura e complexidade aromática (ATWM (24.1-26 °C)) | Moderadamente quente. Maturação acelerada que pode comprometer o equilíbrio álcool/acidez (ATHM (24.1-26 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))
- Leve excesso térmico compromete parcialmente a frescura e complexidade aromática (ATWM (24.1-26 °C)) | Moderadamente quente. Maturação acelerada que pode comprometer o equilíbrio álcool/acidez (ATHM (24.1-26 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Temperaturas moderadamente elevadas podem provocar desequilíbrio fenológico e perda de tipicidade (ATWM (26.1-28 °C)) | Temperatura ligeiramente superior ao intervalo ideal. Pode exigir antecipação da vindima (ATHM (22.1-24 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))
- Temperaturas moderadamente elevadas podem provocar desequilíbrio fenológico e perda de tipicidade (ATWM (26.1-28 °C)) | Temperatura ligeiramente superior ao intervalo ideal. Pode exigir antecipação da vindima (ATHM (22.1-24 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Temperaturas moderadamente elevadas podem provocar desequilíbrio fenológico e perda de tipicidade (ATWM (26.1-28 °C)) | Moderadamente quente. Maturação acelerada que pode comprometer o equilíbrio álcool/acidez (ATHM (24.1-26 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Temperaturas moderadamente elevadas podem provocar desequilíbrio fenológico e perda de tipicidade (ATWM (26.1-28 °C)) | Moderadamente quente. Maturação acelerada que pode comprometer o equilíbrio álcool/acidez (ATHM (24.1-26 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))
- Temperaturas moderadamente elevadas podem provocar desequilíbrio fenológico e perda de tipicidade (ATWM (26.1-28 °C)) | Quente. Sobrematuração provável e risco de perda de frescura (ATHM (26.1-28 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))
- Temperaturas elevadas induzem sobrematuração, exigindo vindima antecipada (ATWM (28.1-30 °C)) | Quente. Sobrematuração provável e risco de perda de frescura (ATHM (26.1-28 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))

Figura 4.52. Alteração das condições térmicas de maturação RCP 8.5.

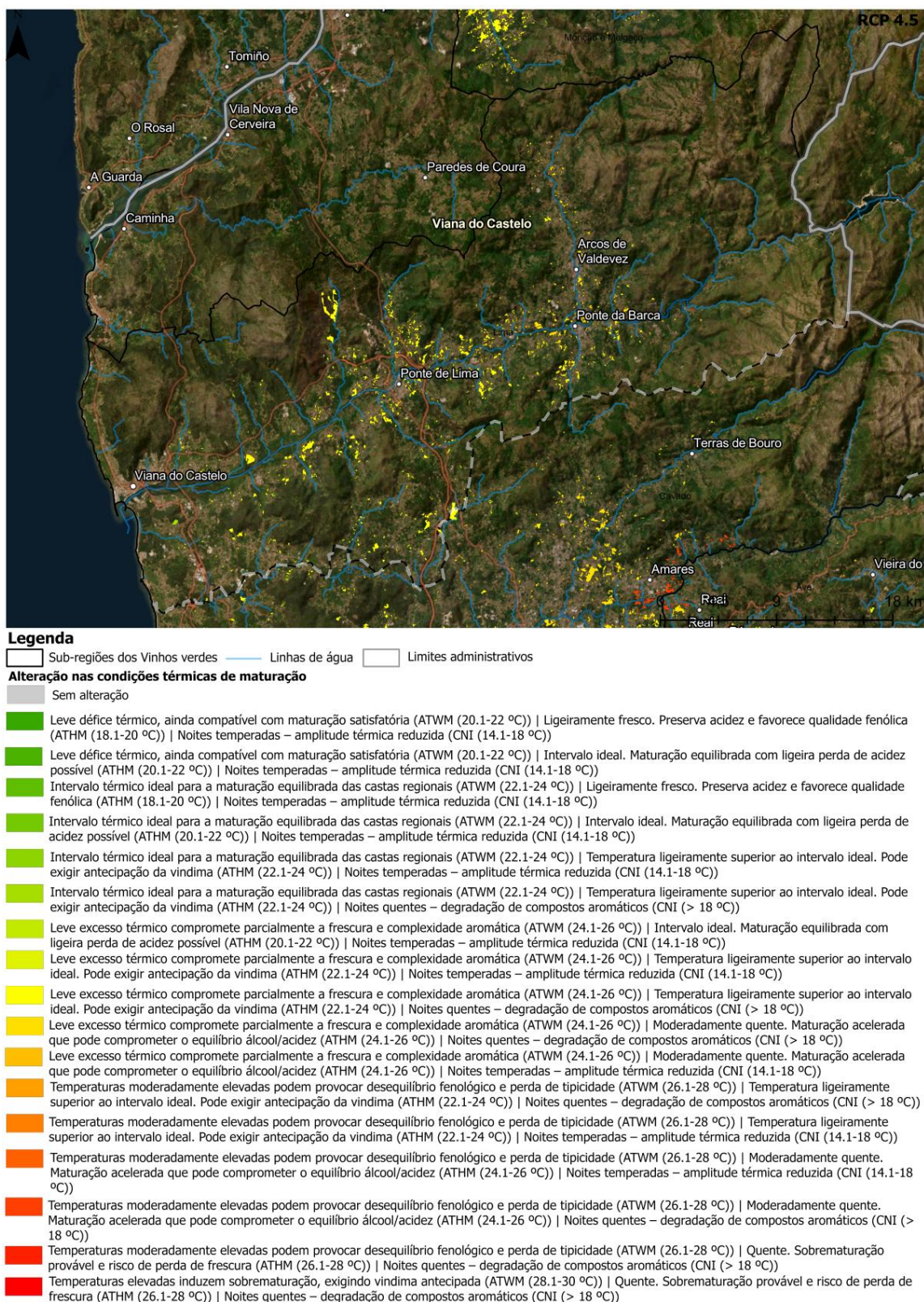


Figura 4.53. Alteração das condições térmicas de maturação RCP 8.5.

4.5.3. Indicadores hidrotérmicos

A análise dos indicadores hidrotérmicos permite compreender, com elevada precisão, as pressões climáticas que se acumulam sobre os ecossistemas vitivinícolas da Região dos Vinhos Verdes (RDVV) num cenário de alterações climáticas progressivas. Os resultados para os cenários RCP 4.5 (2041–2070) e RCP 8.5 (2071–2100) revelam uma alteração profunda dos equilíbrios hídricos regionais, com implicações severas na fisiologia da vinha, no calendário fenológico, nos níveis produtivos e na qualidade dos vinhos.

No cenário RCP 4.5, observa-se já uma tendência generalizada para o aumento da evapotranspiração potencial (ET_0), com muitas áreas da região a situarem-se entre 901–950 mm, sinalizando uma pressão crescente sobre os recursos hídricos disponíveis. Esta exigência térmica acrescida surge acompanhada por um ligeiro declínio da precipitação útil no período de colheita (PP0809), com valores entre 61–80 mm, reduzindo a margem de segurança hídrica na fase crítica do amadurecimento. Em termos de balanço hidrotérmico, o índice hidrotérmico de Selianinov (K/HIS) começa a descer para valores próximos de 1, refletindo um equilíbrio cada vez mais instável, sobretudo em áreas interiores. Nestes contextos, a redução da humidade do solo, associada a temperaturas elevadas, intensifica o risco de stress hídrico fisiológico, com impactos já observáveis na redução da área foliar, inibição da fotossíntese e quebra de rendimento. Além disso, o índice BBLI (Branas-Bernon-Lavadoux), indicador de risco de doenças fúngicas, mantém-se em valores elevados em grande parte da RDVV (2500–5100), o que, combinado com a instabilidade térmica, potencia um contexto de duplo risco: défice hídrico e pressão sanitária (Figura 4.54 e Figura 4.57) (Anexo III - Figura A3.1 a Figura A3.9).

No cenário RCP 8.5, as alterações são significativamente mais graves, configurando uma mudança de paradigma climático. A ET_0 ultrapassa frequentemente os 1000 mm/ano, tornando-se estruturalmente superior à capacidade de reposição hídrica por precipitação. O índice k desce para valores claramente inferiores a 1 (frequentemente entre 0.9 e 0.7), o que indica défices hídricos permanentes, mesmo em anos médios, exigindo medidas estruturais de adaptação. A preocupação torna-se crítica em sub-regiões como Sousa, Paiva, Amarante e Basto, onde as condições topográficas agravam o stress térmico e reduzem a retenção hídrica dos solos, sobretudo em zonas com pouca matéria orgânica. A precipitação no mês de colheita (PP0809) desce muitas vezes abaixo dos 41 mm, chegando mesmo a valores críticos de 21–40 mm, o que compromete gravemente o desenvolvimento final da baga, a síntese de antocianinas e a expressão aromática das castas. Mesmo sub-regiões tradicionalmente húmidas, como Lima,

Cávado e Monção-Melgaço, começam a exibir focos de vulnerabilidade hidrotérmica, principalmente em áreas de cotas baixas ou mais expostas à radiação solar. A pressão climática é também evidente nas zonas do litoral e da transição atlântico-interior, como Barcelos, Braga, Guimarães e Santo Tirso, que apresentam mosaicos de risco, alternando entre classes moderadas e severas (Figura 4.58 a Figura 4.61) (Anexo III - Figura A3.10 a Figura A3.18).

A análise integrada dos três principais índices utilizados (ET0, PP0809 e k), articulada com o BBLI, permite construir um quadro de risco multifatorial, onde se destacam os seguintes efeitos agronómicos e fisiológicos esperados:

- i. Aumento da taxa de evapotranspiração → menor humidade no solo, maior necessidade de rega ou conservação da água;
- ii. Risco de stress hídrico moderado a severo → paragem do crescimento vegetativo, queimaduras na película, maturação desfasada;
- iii. Redução do teor de acidez total e aumento do pH → perda de frescura e estabilidade microbiológica dos vinhos;
- iv. Quebra de rendimento → devido ao aborto floral, bagas desidratadas e menor volume por planta;
- v. Pressão fúngica contínua → maior número de tratamentos fitossanitários, com consequências económicas e ecológicas;
- vi. Maior variabilidade interanual → dificultando o planeamento da vindima e a previsibilidade do perfil enológico.

Perante este cenário, o setor vitivinícola da RDVV enfrenta uma disjuntiva estratégica clara: ou adapta as práticas culturais e os sistemas produtivos ao novo contexto climático, ou enfrentará uma erosão progressiva da qualidade, produtividade e identidade territorial dos seus vinhos.

As principais estratégias de mitigação e adaptação recomendadas incluem:

- i. Reorganização do calendário agrícola: vindimas mais precoces e ajustadas ao perfil térmico anual;
- ii. Introdução de porta-enxertos resistentes à seca e de castas com maior tolerância ao stress hídrico;
- iii. Gestão ativa do solo, com aumento da matéria orgânica, uso de cobertos vegetais e práticas conservacionistas;

- iv. Infraestruturação para rega localizada, onde viável e permitido, com base em indicadores climáticos e não por calendário;
- v. Monitorização contínua com apoio de índices agroclimáticos, integrados em sistemas de apoio à decisão (DSS);
- vi. Promoção da diversificação varietal e enológica, ajustada às novas zonas bioclimáticas emergentes.

A análise dos cenários climáticos futuros para os indicadores hídrotérmicos aponta para uma transformação estrutural dos equilíbrios hídricos da RDVV, com particular impacto nas regiões interiores. A urgência da adaptação não se limita à escala da exploração, exigindo também uma resposta institucional, cooperativa e territorial, baseada na ciência, no planeamento e na capacidade de inovação do setor vitivinícola regional.

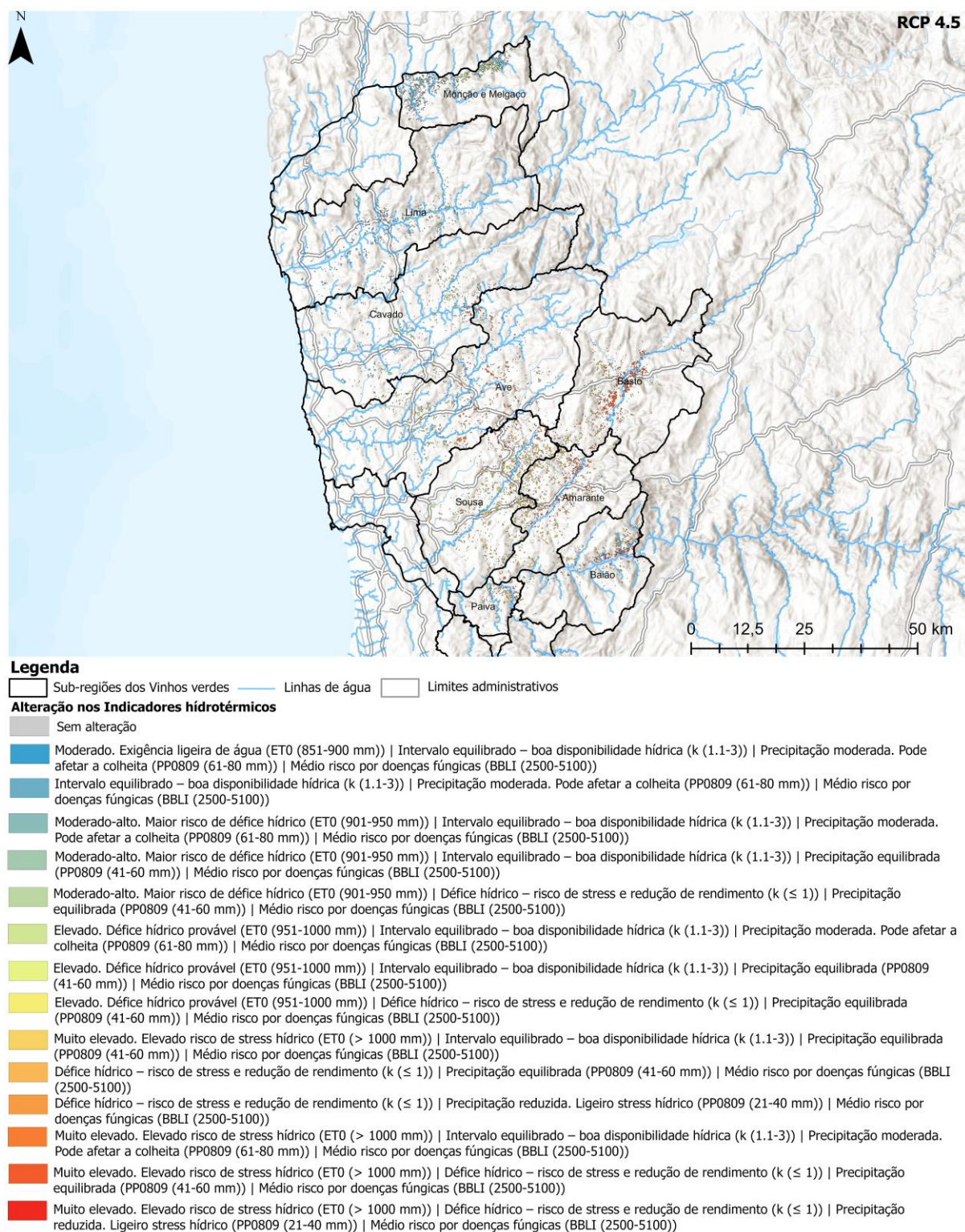
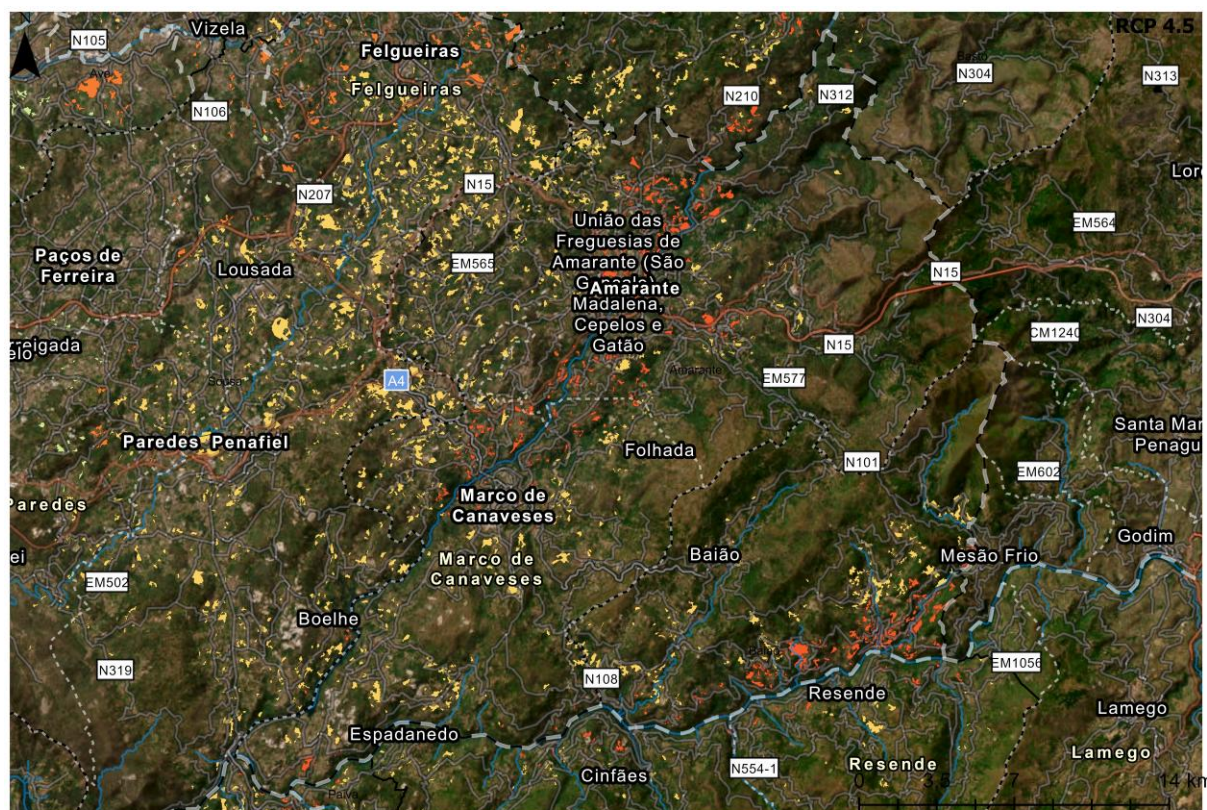


Figura 4.54. Alteração nos indicadores hidrotérmicos RCP 4.5.



Legenda

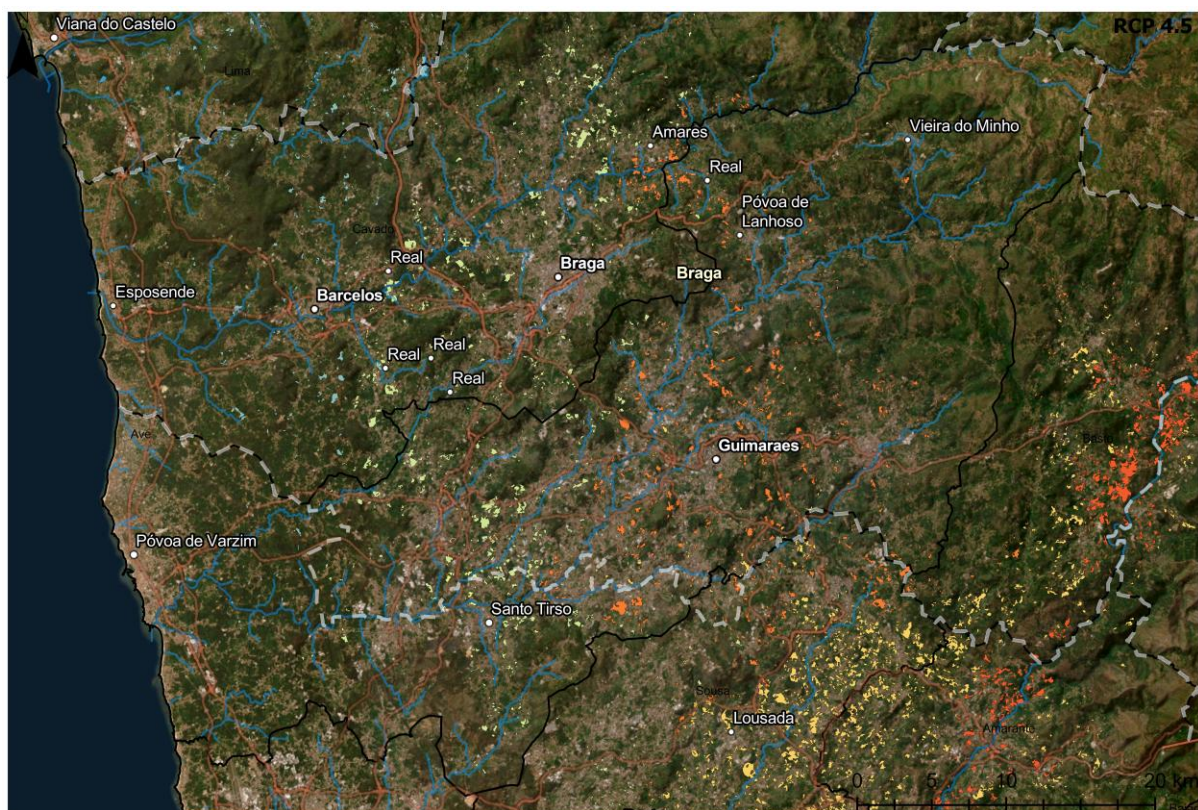
Sub-regiões dos Vinhos verdes Linhas de água Limites administrativos

Alteração nos Indicadores hidrotérmicos

Sem alteração

- Moderado. Exigência ligeira de água (ET0 (851-900 mm)) | Intervalo equilibrado – boa disponibilidade hídrica (k (1.1-3)) | Precipitação moderada. Pode afetar a colheita (PP0809 (61-80 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Intervalo equilibrado – boa disponibilidade hídrica (k (1.1-3)) | Precipitação moderada. Pode afetar a colheita (PP0809 (61-80 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Moderado-alto. Maior risco de défice hídrico (ET0 (901-950 mm)) | Intervalo equilibrado – boa disponibilidade hídrica (k (1.1-3)) | Precipitação moderada. Pode afetar a colheita (PP0809 (61-80 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Moderado-alto. Maior risco de défice hídrico (ET0 (901-950 mm)) | Intervalo equilibrado – boa disponibilidade hídrica (k (1.1-3)) | Precipitação equilibrada (PP0809 (41-60 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Moderado-alto. Maior risco de défice hídrico (ET0 (901-950 mm)) | Déficit hídrico – risco de stress e redução de rendimento (k (≤ 1)) | Precipitação equilibrada (PP0809 (41-60 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Elevado. Déficit hídrico provável (ET0 (951-1000 mm)) | Intervalo equilibrado – boa disponibilidade hídrica (k (1.1-3)) | Precipitação moderada. Pode afetar a colheita (PP0809 (61-80 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Elevado. Déficit hídrico provável (ET0 (951-1000 mm)) | Intervalo equilibrado – boa disponibilidade hídrica (k (1.1-3)) | Precipitação equilibrada (PP0809 (41-60 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Elevado. Déficit hídrico provável (ET0 (951-1000 mm)) | Déficit hídrico – risco de stress e redução de rendimento (k (≤ 1)) | Precipitação equilibrada (PP0809 (41-60 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Muito elevado. Elevado risco de stress hídrico (ET0 (> 1000 mm)) | Intervalo equilibrado – boa disponibilidade hídrica (k (1.1-3)) | Precipitação equilibrada (PP0809 (41-60 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Déficit hídrico – risco de stress e redução de rendimento (k (≤ 1)) | Precipitação equilibrada (PP0809 (41-60 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Déficit hídrico – risco de stress e redução de rendimento (k (≤ 1)) | Precipitação reduzida. Ligeiro stress hídrico (PP0809 (21-40 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Muito elevado. Elevado risco de stress hídrico (ET0 (> 1000 mm)) | Intervalo equilibrado – boa disponibilidade hídrica (k (1.1-3)) | Precipitação moderada. Pode afetar a colheita (PP0809 (61-80 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Muito elevado. Elevado risco de stress hídrico (ET0 (> 1000 mm)) | Déficit hídrico – risco de stress e redução de rendimento (k (≤ 1)) | Precipitação equilibrada (PP0809 (41-60 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Muito elevado. Elevado risco de stress hídrico (ET0 (> 1000 mm)) | Déficit hídrico – risco de stress e redução de rendimento (k (≤ 1)) | Precipitação reduzida. Ligeiro stress hídrico (PP0809 (21-40 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))

Figura 4.55. Alteração nos indicadores hidrotérmicos RCP 4.5.



Legenda

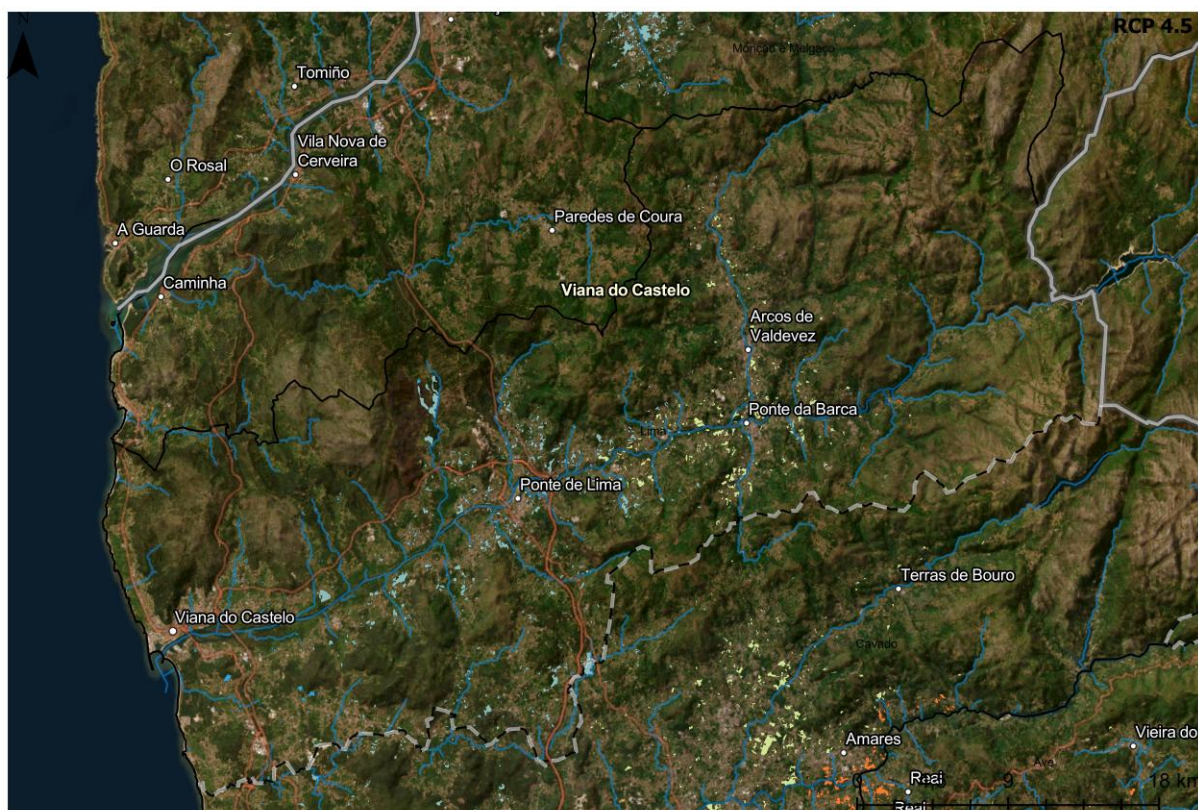
Sub-regiões dos Vinhos verdes Linhas de água Limites administrativos

Alteração nos Indicadores hidrotérmicos

Sem alteração

- Moderado. Exigência ligeira de água (ET0 (851-900 mm)) | Intervalo equilibrado – boa disponibilidade hídrica (k (1.1-3)) | Precipitação moderada. Pode afetar a colheita (PP0809 (61-80 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Intervalo equilibrado – boa disponibilidade hídrica (k (1.1-3)) | Precipitação moderada. Pode afetar a colheita (PP0809 (61-80 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Moderado-alto. Maior risco de défice hídrico (ET0 (901-950 mm)) | Intervalo equilibrado – boa disponibilidade hídrica (k (1.1-3)) | Precipitação moderada. Pode afetar a colheita (PP0809 (61-80 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Moderado-alto. Maior risco de défice hídrico (ET0 (901-950 mm)) | Intervalo equilibrado – boa disponibilidade hídrica (k (1.1-3)) | Precipitação equilibrada (PP0809 (41-60 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Moderado-alto. Maior risco de défice hídrico (ET0 (901-950 mm)) | Déficit hídrico – risco de stress e redução de rendimento (k (≤ 1)) | Precipitação equilibrada (PP0809 (41-60 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Elevado. Déficit hídrico provável (ET0 (951-1000 mm)) | Intervalo equilibrado – boa disponibilidade hídrica (k (1.1-3)) | Precipitação moderada. Pode afetar a colheita (PP0809 (61-80 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Elevado. Déficit hídrico provável (ET0 (951-1000 mm)) | Intervalo equilibrado – boa disponibilidade hídrica (k (1.1-3)) | Precipitação equilibrada (PP0809 (41-60 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Elevado. Déficit hídrico provável (ET0 (951-1000 mm)) | Déficit hídrico – risco de stress e redução de rendimento (k (≤ 1)) | Precipitação equilibrada (PP0809 (41-60 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Muito elevado. Elevado risco de stress hídrico (ET0 (> 1000 mm)) | Intervalo equilibrado – boa disponibilidade hídrica (k (1.1-3)) | Precipitação equilibrada (PP0809 (41-60 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Déficit hídrico – risco de stress e redução de rendimento (k (≤ 1)) | Precipitação equilibrada (PP0809 (41-60 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Déficit hídrico – risco de stress e redução de rendimento (k (≤ 1)) | Precipitação reduzida. Ligeiro stress hídrico (PP0809 (21-40 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Muito elevado. Elevado risco de stress hídrico (ET0 (> 1000 mm)) | Intervalo equilibrado – boa disponibilidade hídrica (k (1.1-3)) | Precipitação moderada. Pode afetar a colheita (PP0809 (61-80 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Muito elevado. Elevado risco de stress hídrico (ET0 (> 1000 mm)) | Déficit hídrico – risco de stress e redução de rendimento (k (≤ 1)) | Precipitação equilibrada (PP0809 (41-60 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Muito elevado. Elevado risco de stress hídrico (ET0 (> 1000 mm)) | Déficit hídrico – risco de stress e redução de rendimento (k (≤ 1)) | Precipitação reduzida. Ligeiro stress hídrico (PP0809 (21-40 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))

Figura 4.56. Alteração nos indicadores hidrotérmicos RCP 4.5.



Legenda

Sub-regiões dos Vinhos verdes Linhas de água Limites administrativos

Alteração nos Indicadores hidrotérmicos

Sem alteração

- Moderado. Exigência ligeira de água (ET0 (851-900 mm)) | Intervalo equilibrado – boa disponibilidade hídrica (k (1.1-3)) | Precipitação moderada. Pode afetar a colheita (PP0809 (61-80 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Intervalo equilibrado – boa disponibilidade hídrica (k (1.1-3)) | Precipitação moderada. Pode afetar a colheita (PP0809 (61-80 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Moderado-alto. Maior risco de défice hídrico (ET0 (901-950 mm)) | Intervalo equilibrado – boa disponibilidade hídrica (k (1.1-3)) | Precipitação moderada. Pode afetar a colheita (PP0809 (61-80 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Moderado-alto. Maior risco de défice hídrico (ET0 (901-950 mm)) | Intervalo equilibrado – boa disponibilidade hídrica (k (1.1-3)) | Precipitação equilibrada (PP0809 (41-60 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Moderado-alto. Maior risco de défice hídrico (ET0 (901-950 mm)) | Défice hídrico – risco de stress e redução de rendimento (k (≤ 1)) | Precipitação equilibrada (PP0809 (41-60 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Elevado. Défice hídrico provável (ET0 (951-1000 mm)) | Intervalo equilibrado – boa disponibilidade hídrica (k (1.1-3)) | Precipitação moderada. Pode afetar a colheita (PP0809 (61-80 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Elevado. Défice hídrico provável (ET0 (951-1000 mm)) | Intervalo equilibrado – boa disponibilidade hídrica (k (1.1-3)) | Precipitação equilibrada (PP0809 (41-60 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Elevado. Défice hídrico provável (ET0 (951-1000 mm)) | Défice hídrico – risco de stress e redução de rendimento (k (≤ 1)) | Precipitação equilibrada (PP0809 (41-60 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Muito elevado. Elevado risco de stress hídrico (ET0 (> 1000 mm)) | Intervalo equilibrado – boa disponibilidade hídrica (k (1.1-3)) | Precipitação equilibrada (PP0809 (41-60 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Défice hídrico – risco de stress e redução de rendimento (k (≤ 1)) | Precipitação equilibrada (PP0809 (41-60 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Défice hídrico – risco de stress e redução de rendimento (k (≤ 1)) | Precipitação reduzida. Ligeiro stress hídrico (PP0809 (21-40 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Muito elevado. Elevado risco de stress hídrico (ET0 (> 1000 mm)) | Intervalo equilibrado – boa disponibilidade hídrica (k (1.1-3)) | Precipitação moderada. Pode afetar a colheita (PP0809 (61-80 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Muito elevado. Elevado risco de stress hídrico (ET0 (> 1000 mm)) | Défice hídrico – risco de stress e redução de rendimento (k (≤ 1)) | Precipitação equilibrada (PP0809 (41-60 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Muito elevado. Elevado risco de stress hídrico (ET0 (> 1000 mm)) | Défice hídrico – risco de stress e redução de rendimento (k (≤ 1)) | Precipitação reduzida. Ligeiro stress hídrico (PP0809 (21-40 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))

Figura 4.57. Alteração nos indicadores hidrotérmicos RCP 4.5.

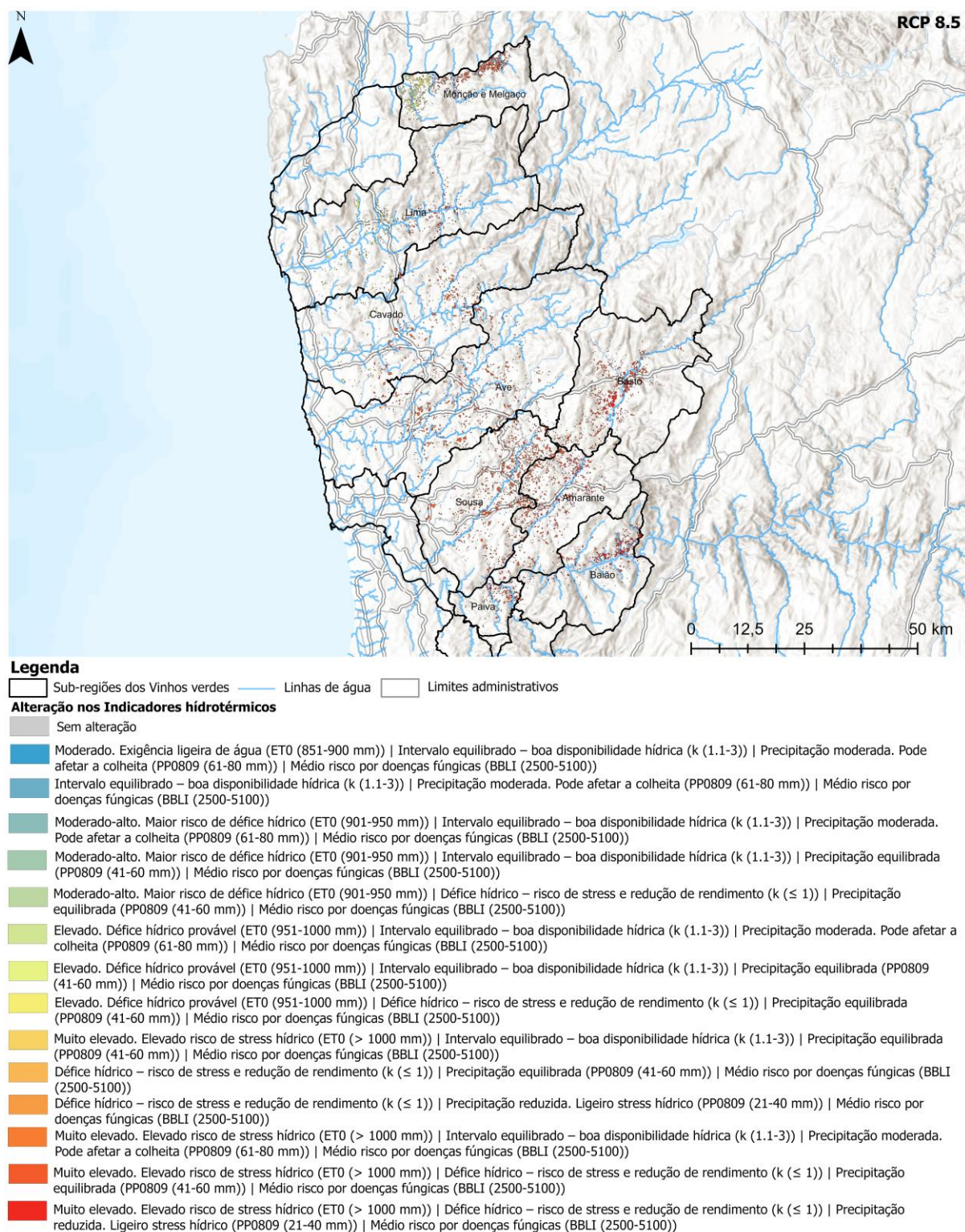
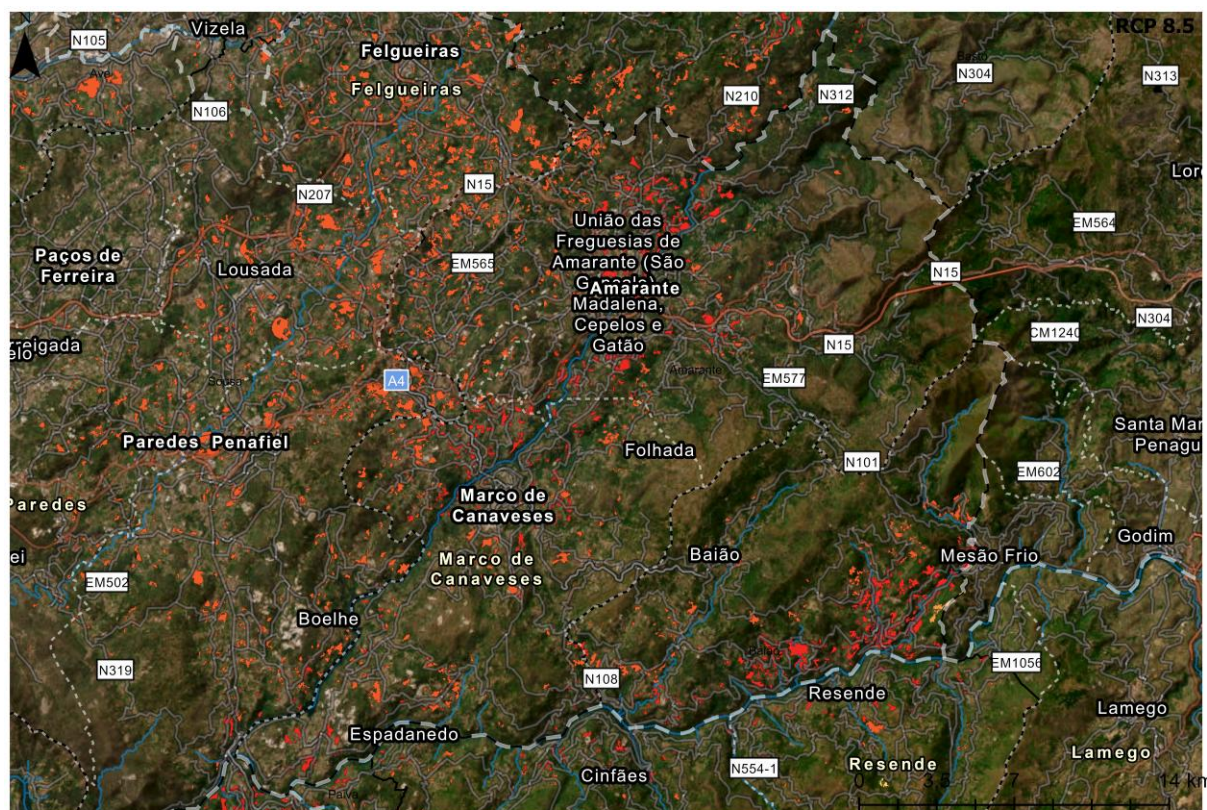


Figura 4.58. Alteração nos indicadores hidrotérmicos RCP 8.5.



Legenda

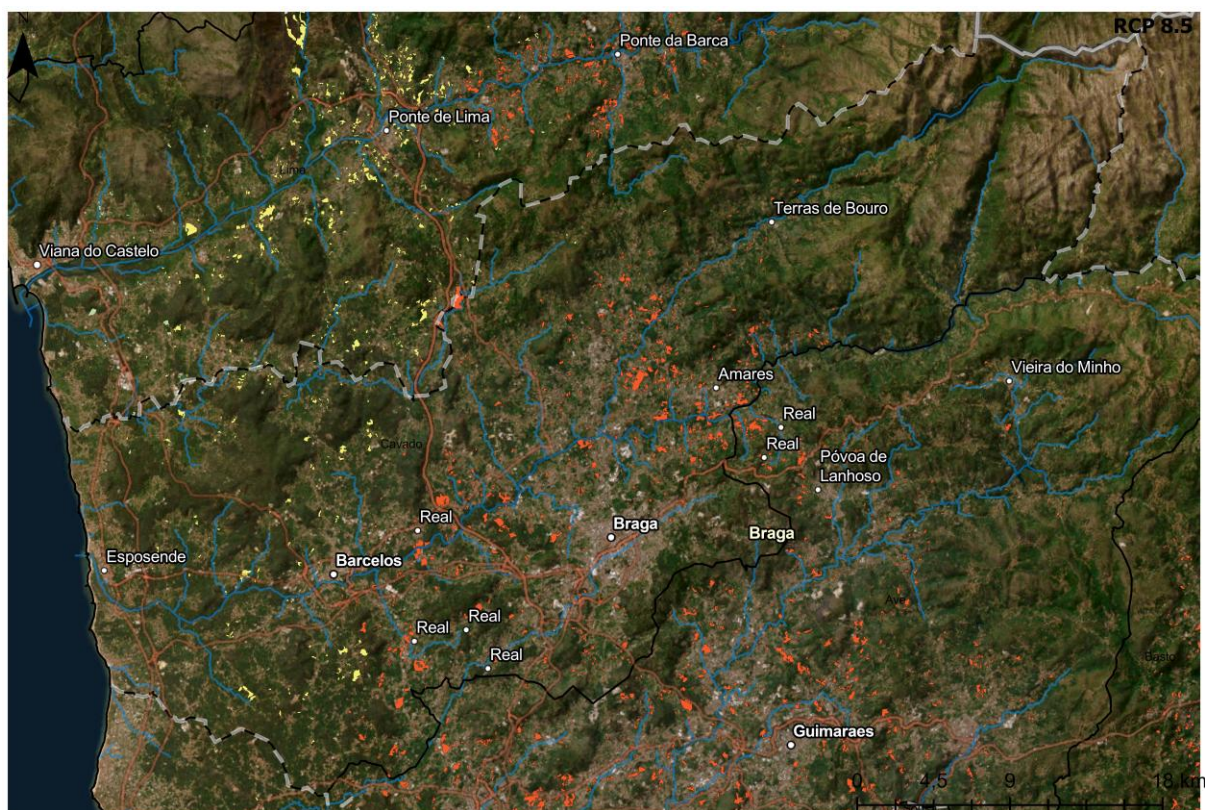
Sub-regiões dos Vinhos verdes Linhas de água Limites administrativos

Alteração nos Indicadores hidrotérmicos

Sem alteração

- Moderado. Exigência ligeira de água (ET0 (851-900 mm)) | Intervalo equilibrado – boa disponibilidade hídrica (k (1.1-3)) | Precipitação moderada. Pode afetar a colheita (PP0809 (61-80 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Intervalo equilibrado – boa disponibilidade hídrica (k (1.1-3)) | Precipitação moderada. Pode afetar a colheita (PP0809 (61-80 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Moderado-alto. Maior risco de défice hídrico (ET0 (901-950 mm)) | Intervalo equilibrado – boa disponibilidade hídrica (k (1.1-3)) | Precipitação moderada. Pode afetar a colheita (PP0809 (61-80 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Moderado-alto. Maior risco de défice hídrico (ET0 (901-950 mm)) | Intervalo equilibrado – boa disponibilidade hídrica (k (1.1-3)) | Precipitação equilibrada (PP0809 (41-60 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Moderado-alto. Maior risco de défice hídrico (ET0 (901-950 mm)) | Déficit hídrico – risco de stress e redução de rendimento (k (≤ 1)) | Precipitação equilibrada (PP0809 (41-60 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Elevado. Déficit hídrico provável (ET0 (951-1000 mm)) | Intervalo equilibrado – boa disponibilidade hídrica (k (1.1-3)) | Precipitação moderada. Pode afetar a colheita (PP0809 (61-80 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Elevado. Déficit hídrico provável (ET0 (951-1000 mm)) | Intervalo equilibrado – boa disponibilidade hídrica (k (1.1-3)) | Precipitação equilibrada (PP0809 (41-60 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Elevado. Déficit hídrico provável (ET0 (951-1000 mm)) | Déficit hídrico – risco de stress e redução de rendimento (k (≤ 1)) | Precipitação equilibrada (PP0809 (41-60 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Muito elevado. Elevado risco de stress hídrico (ET0 (> 1000 mm)) | Intervalo equilibrado – boa disponibilidade hídrica (k (1.1-3)) | Precipitação equilibrada (PP0809 (41-60 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Déficit hídrico – risco de stress e redução de rendimento (k (≤ 1)) | Precipitação equilibrada (PP0809 (41-60 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Déficit hídrico – risco de stress e redução de rendimento (k (≤ 1)) | Precipitação reduzida. Ligeiro stress hídrico (PP0809 (21-40 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Muito elevado. Elevado risco de stress hídrico (ET0 (> 1000 mm)) | Intervalo equilibrado – boa disponibilidade hídrica (k (1.1-3)) | Precipitação moderada. Pode afetar a colheita (PP0809 (61-80 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Muito elevado. Elevado risco de stress hídrico (ET0 (> 1000 mm)) | Déficit hídrico – risco de stress e redução de rendimento (k (≤ 1)) | Precipitação equilibrada (PP0809 (41-60 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Muito elevado. Elevado risco de stress hídrico (ET0 (> 1000 mm)) | Déficit hídrico – risco de stress e redução de rendimento (k (≤ 1)) | Precipitação reduzida. Ligeiro stress hídrico (PP0809 (21-40 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))

Figura 4.59. Alteração nos indicadores hidrotérmicos RCP 8.5.



Legenda

Sub-regiões dos Vinhos verdes Linhas de água Limites administrativos

Alteração nos Indicadores hidrotérmicos

Sem alteração

- Moderado. Exigência ligeira de água (ET0 (851-900 mm)) | Intervalo equilibrado – boa disponibilidade hídrica (k (1.1-3)) | Precipitação moderada. Pode afetar a colheita (PP0809 (61-80 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Intervalo equilibrado – boa disponibilidade hídrica (k (1.1-3)) | Precipitação moderada. Pode afetar a colheita (PP0809 (61-80 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Moderado-alto. Maior risco de défice hídrico (ET0 (901-950 mm)) | Intervalo equilibrado – boa disponibilidade hídrica (k (1.1-3)) | Precipitação moderada. Pode afetar a colheita (PP0809 (61-80 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Moderado-alto. Maior risco de défice hídrico (ET0 (901-950 mm)) | Intervalo equilibrado – boa disponibilidade hídrica (k (1.1-3)) | Precipitação equilibrada (PP0809 (41-60 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Moderado-alto. Maior risco de défice hídrico (ET0 (901-950 mm)) | Déficit hídrico – risco de stress e redução de rendimento (k ($\leq$ 1)) | Precipitação equilibrada (PP0809 (41-60 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Elevado. Déficit hídrico provável (ET0 (951-1000 mm)) | Intervalo equilibrado – boa disponibilidade hídrica (k (1.1-3)) | Precipitação moderada. Pode afetar a colheita (PP0809 (61-80 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Elevado. Déficit hídrico provável (ET0 (951-1000 mm)) | Intervalo equilibrado – boa disponibilidade hídrica (k (1.1-3)) | Precipitação equilibrada (PP0809 (41-60 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Elevado. Déficit hídrico provável (ET0 (951-1000 mm)) | Déficit hídrico – risco de stress e redução de rendimento (k ($\leq$ 1)) | Precipitação equilibrada (PP0809 (41-60 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Muito elevado. Elevado risco de stress hídrico (ET0 (> 1000 mm)) | Intervalo equilibrado – boa disponibilidade hídrica (k (1.1-3)) | Precipitação equilibrada (PP0809 (41-60 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Déficit hídrico – risco de stress e redução de rendimento (k ($\leq$ 1)) | Precipitação equilibrada (PP0809 (41-60 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Déficit hídrico – risco de stress e redução de rendimento (k ($\leq$ 1)) | Precipitação reduzida. Ligeiro stress hídrico (PP0809 (21-40 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Muito elevado. Elevado risco de stress hídrico (ET0 (> 1000 mm)) | Intervalo equilibrado – boa disponibilidade hídrica (k (1.1-3)) | Precipitação moderada. Pode afetar a colheita (PP0809 (61-80 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Muito elevado. Elevado risco de stress hídrico (ET0 (> 1000 mm)) | Déficit hídrico – risco de stress e redução de rendimento (k ($\leq$ 1)) | Precipitação equilibrada (PP0809 (41-60 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Muito elevado. Elevado risco de stress hídrico (ET0 (> 1000 mm)) | Déficit hídrico – risco de stress e redução de rendimento (k ($\leq$ 1)) | Precipitação reduzida. Ligeiro stress hídrico (PP0809 (21-40 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))

Figura 4.60. Alteração nos indicadores hidrotérmicos RCP 8.5.

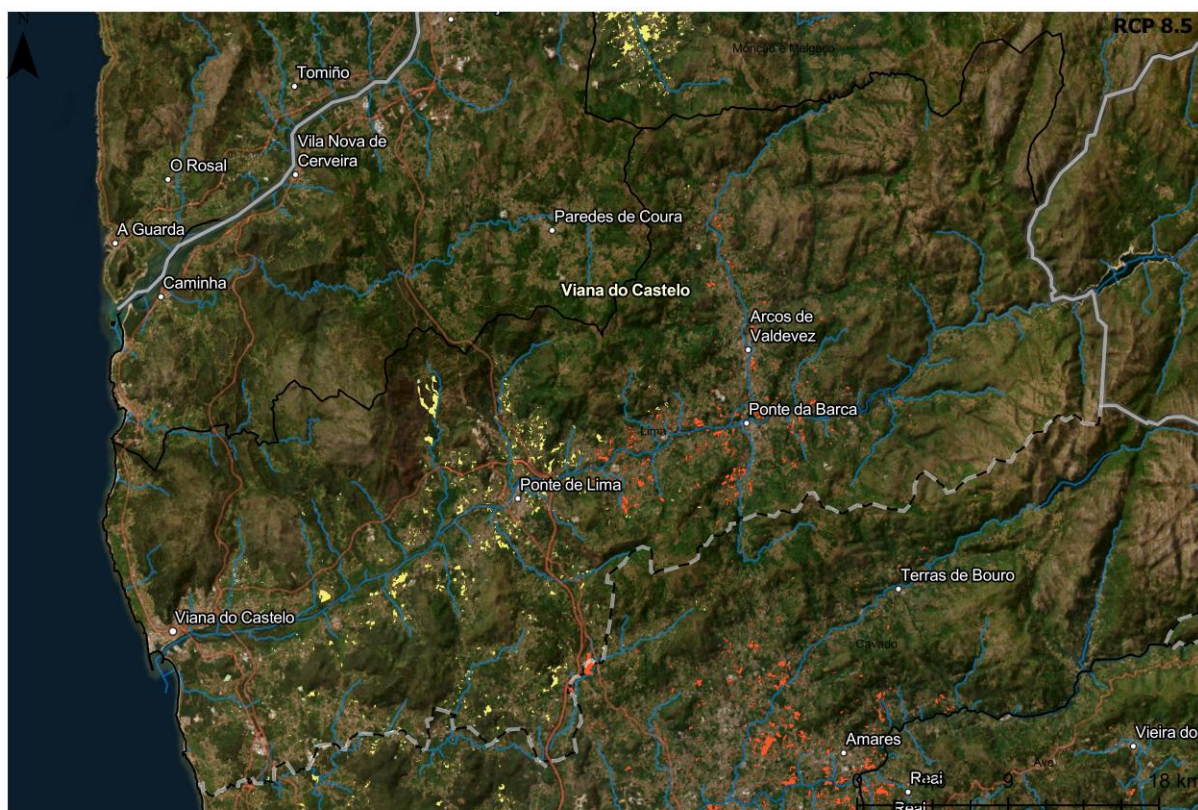


Figura 4.61. Alteração nos indicadores hidrotérmicos RCP 8.5.

4.5.4. Indicadores agroclimáticos compostos

A análise integrada dos indicadores agroclimáticos compostos — o Índice Heliotérmico de Branas (BHI) e o Índice Bioclimático de Hidalgo (IBC) — evidencia alterações estruturais significativas no regime climático da Região dos Vinhos Verdes (RDVV), com implicações diretas na aptidão vitivinícola das diferentes sub-regiões. Estes índices sintetizam, respetivamente, a interação entre temperatura e radiação solar (BHI) e a relação entre calor, luminosidade e precipitação (IBC), permitindo avaliar o equilíbrio agroclimático essencial à produção vitivinícola de qualidade.

No cenário RCP 4.5, observa-se uma redistribuição das classes de aptidão climática, marcada pelo alargamento da faixa ótima de produção em várias sub-regiões da RDVV — especialmente nas zonas intermédias entre o litoral e o interior, como Cávado, Ave e Sousa. Estas áreas reúnem condições favoráveis de radiação e calor, combinadas com uma disponibilidade hídrica ainda suficiente (captada pelo IBC), assegurando maturações equilibradas, boa acumulação de açúcares e compostos fenólicos e manutenção da acidez e frescura, típicas dos vinhos verdes de qualidade. Contudo, começam a emergir zonas com BHI > 7.1, sobretudo nos vales encaixados do Tâmega e Sousa. Estes valores elevados de BHI não representam diretamente défice hídrico, mas sim excesso heliotérmico, que tende a acelerar a maturação, promover maior acumulação de açúcares (e, consequentemente, teor alcoólico mais elevado), reduzir a acidez natural e comprometer a expressão aromática. Mesmo quando o IBC se mantém dentro da gama ótima (5–10), o desequilíbrio térmico já é evidente, exigindo ajustes varietais, estratégias de sombreamento e uma gestão hídrica e foliar mais adaptativa (Figura 4.62 a Figura 4.66) (Anexo IV - Figura A4.1 a Figura A4.9).

Sob o cenário RCP 8.5, estas tendências agravam-se substancialmente e expandem-se espacialmente. A maioria das sub-regiões interiores e de cotas baixas apresenta agora a combinação IBC entre 5–10 com BHI > 7.1, traduzindo uma condição de stress heliotérmico severo, frequentemente acompanhada de disponibilidade hídrica insuficiente (captada pela diminuição relativa dos valores ótimos de IBC em várias parcelas). Este novo contexto climático favorece sobrematuração, perda acelerada de acidez e desequilíbrio álcool/acidez, originando vinhos mais alcoólicos, menos frescos e com menor longevidade. As sub-regiões do Sousa, Amarante, Paiva e Basto apresentam as situações de maior alerta, combinando forte pressão térmica com maior probabilidade de défice hídrico na fase final de maturação,

resultando em maturações rápidas e desreguladas. Nestas áreas, será necessário antecipar a vindima e adotar castas mais tardias e resistentes ao calor.

Por contraste, algumas zonas de maior altitude — como Melgaço, Castro Laboreiro, vales altos de Arcos de Valdevez, zonas interiores de Vila Verde e bordaduras do Parque Nacional da Peneda-Gerês — mantêm condições próximas da faixa ótima (IBC 5–10; BHI 4.1–7.0). Estas áreas poderão funcionar como refúgios climáticos estratégicos, devendo ser prioritárias na preservação e avaliação do seu potencial para reestruturação vitivinícola futura (Figura 4.67 a Figura 4.71) (Anexo IV - Figura A4.10 a Figura A4.18).

Em síntese, os resultados apontam para uma polarização climática crescente na RDVV, caracterizada pela expansão das zonas de risco enológico e pela redução dos territórios com equilíbrio agroclimático adequado. O sistema de indicadores agroclimáticos compostos demonstra ser uma ferramenta operacional e sensível para identificar, monitorizar e antecipar os impactes das alterações climáticas na vitivinicultura regional, devendo ser incorporado na definição de estratégias de adaptação, no reordenamento vitivinícola e na planificação de políticas de longo prazo.

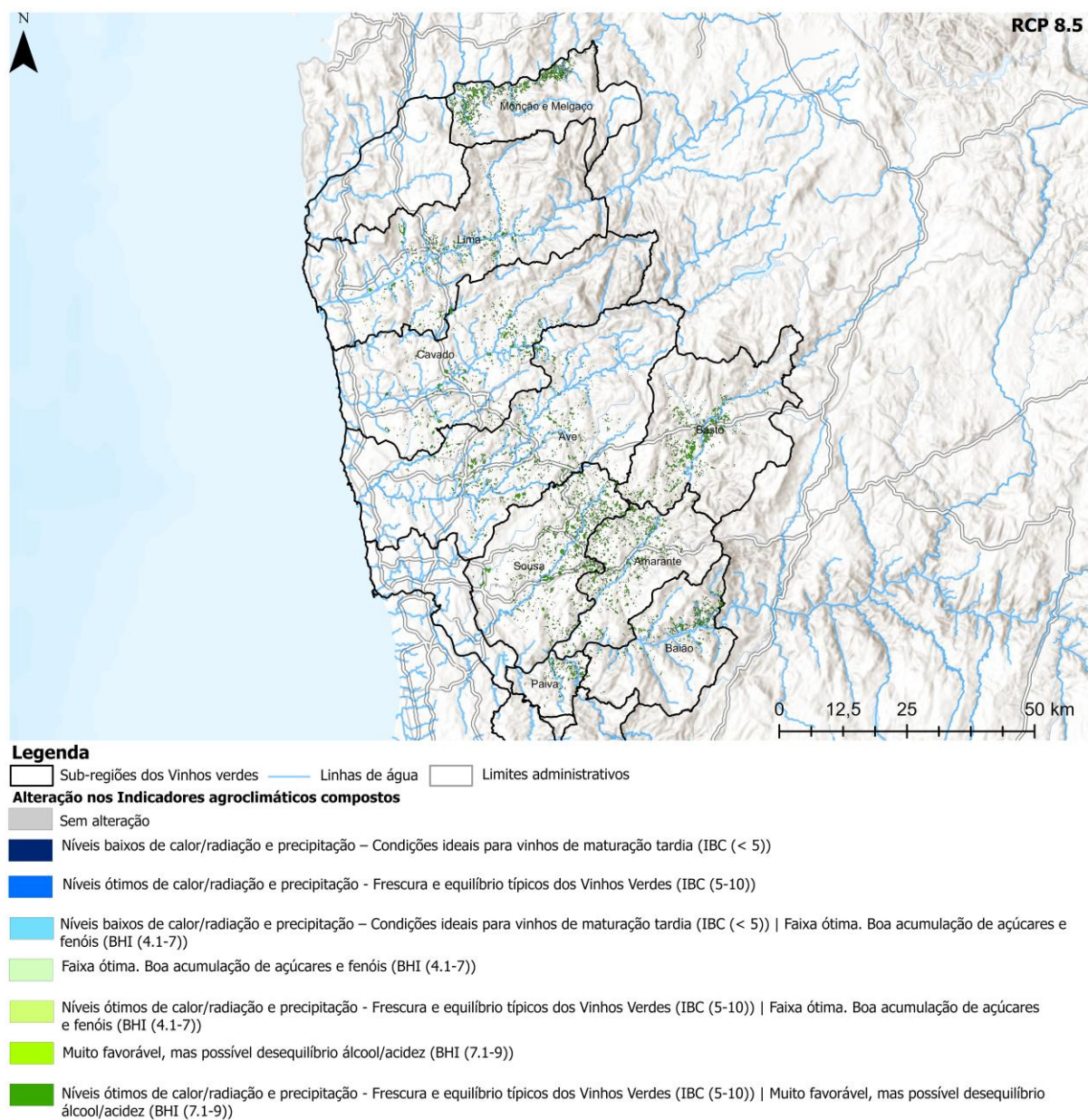


Figura 4.62. Alteração nos indicadores agroclimáticos compostos RCP 4.5.

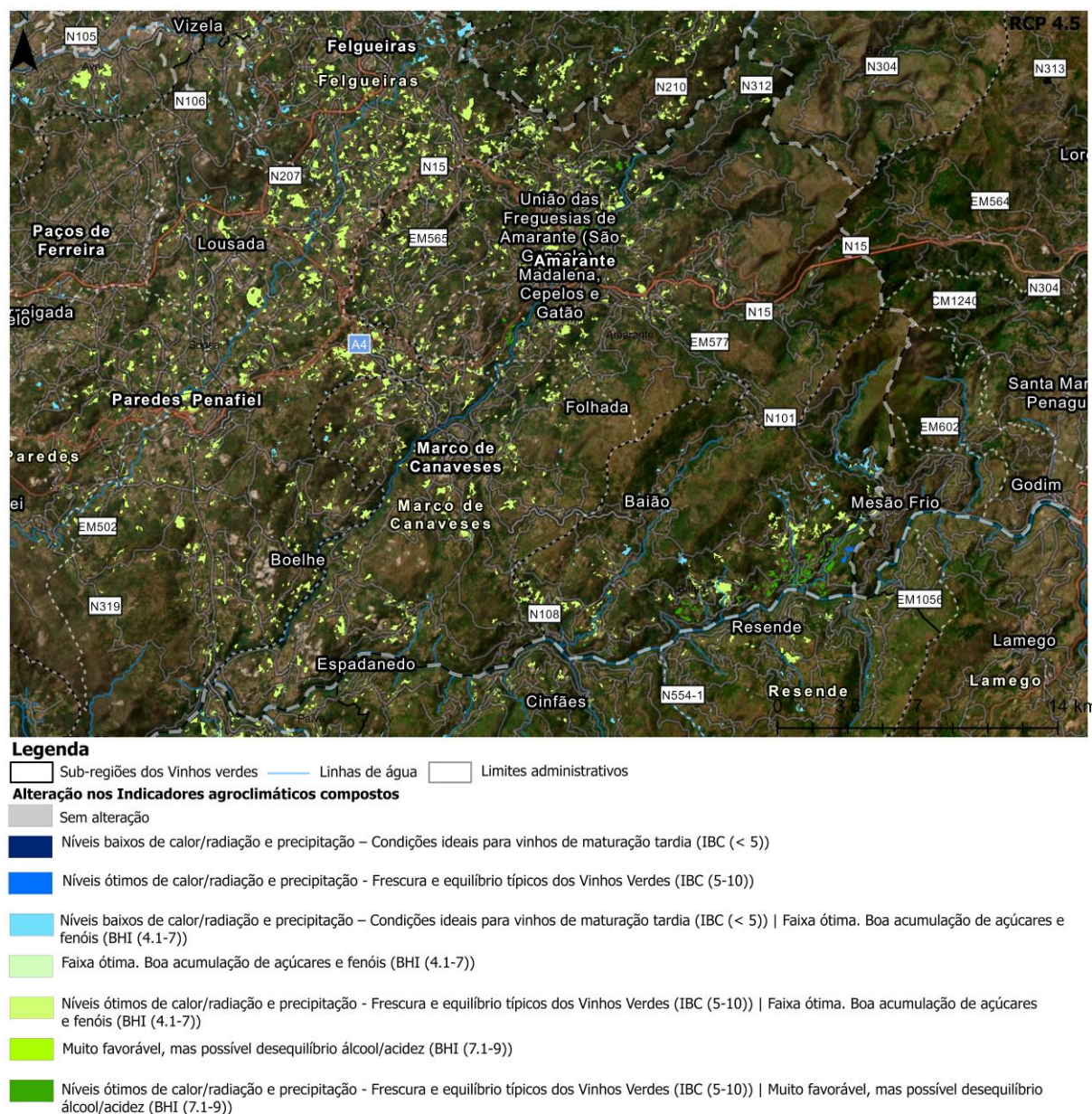


Figura 4.63. Alteração nos indicadores agroclimáticos compostos RCP 4.5.

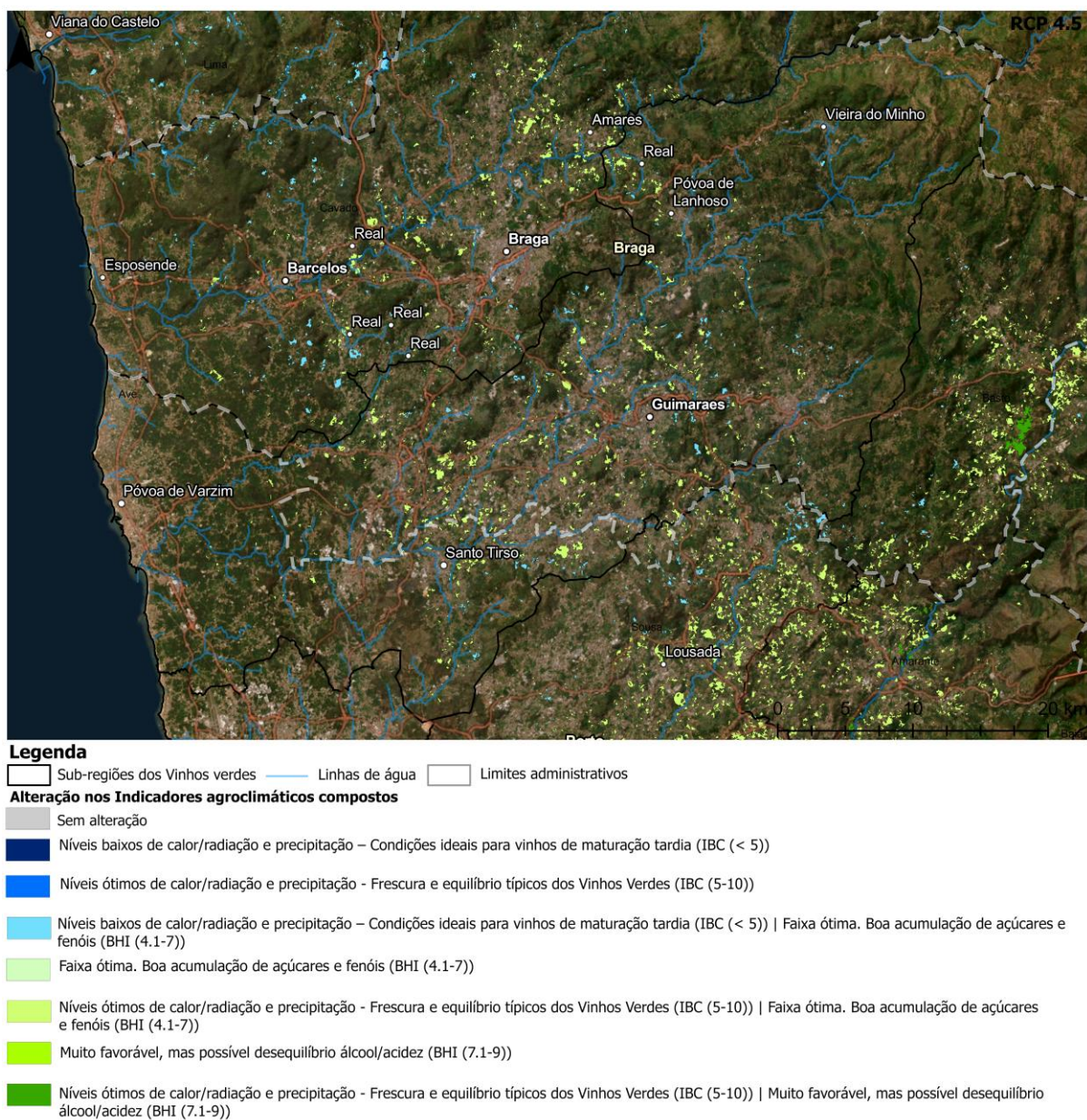


Figura 4.64. Alteração nos indicadores agroclimáticos compostos RCP 4.5.

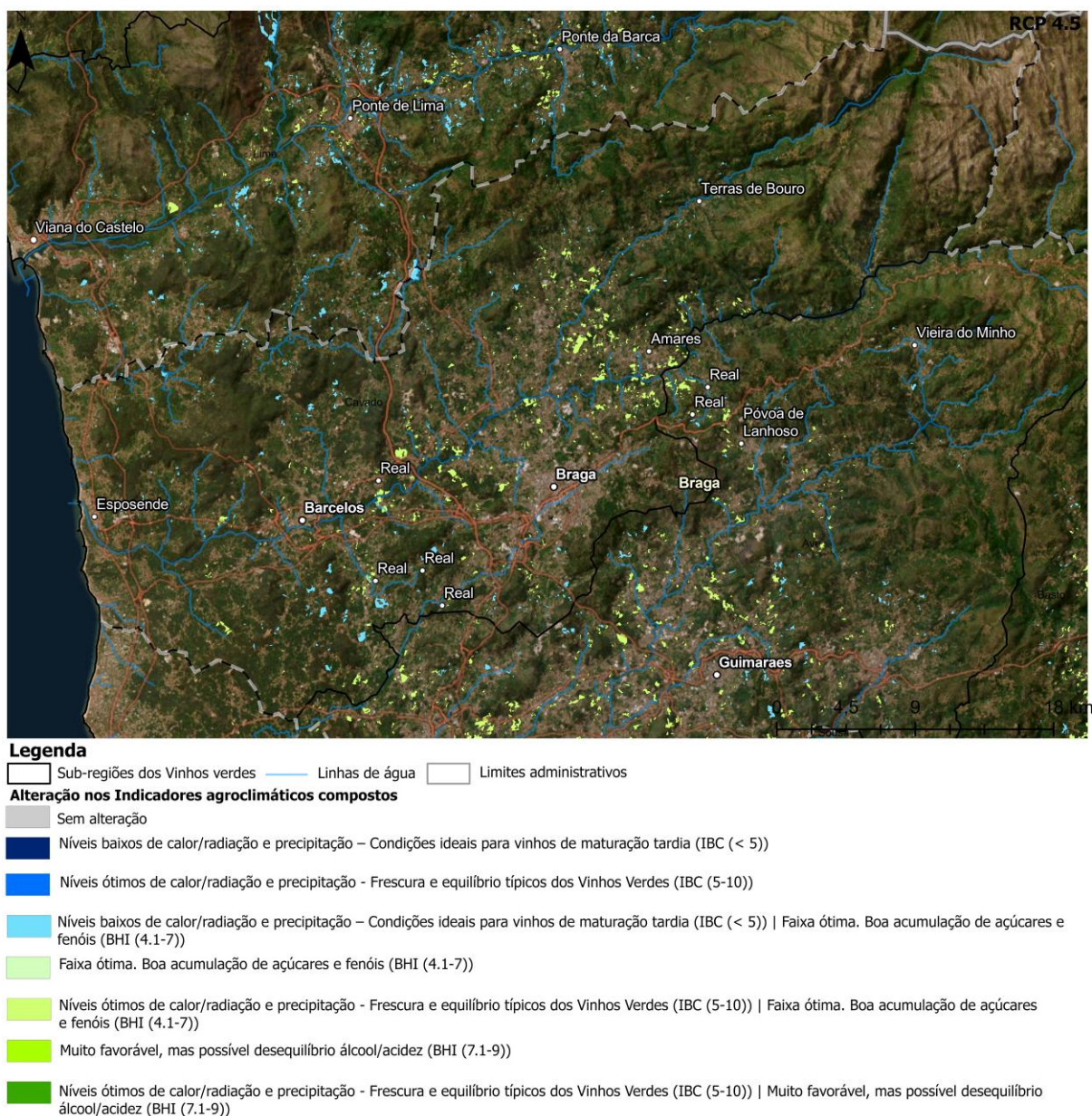


Figura 4.65. Alteração nos indicadores agroclimáticos compostos RCP 4.5.

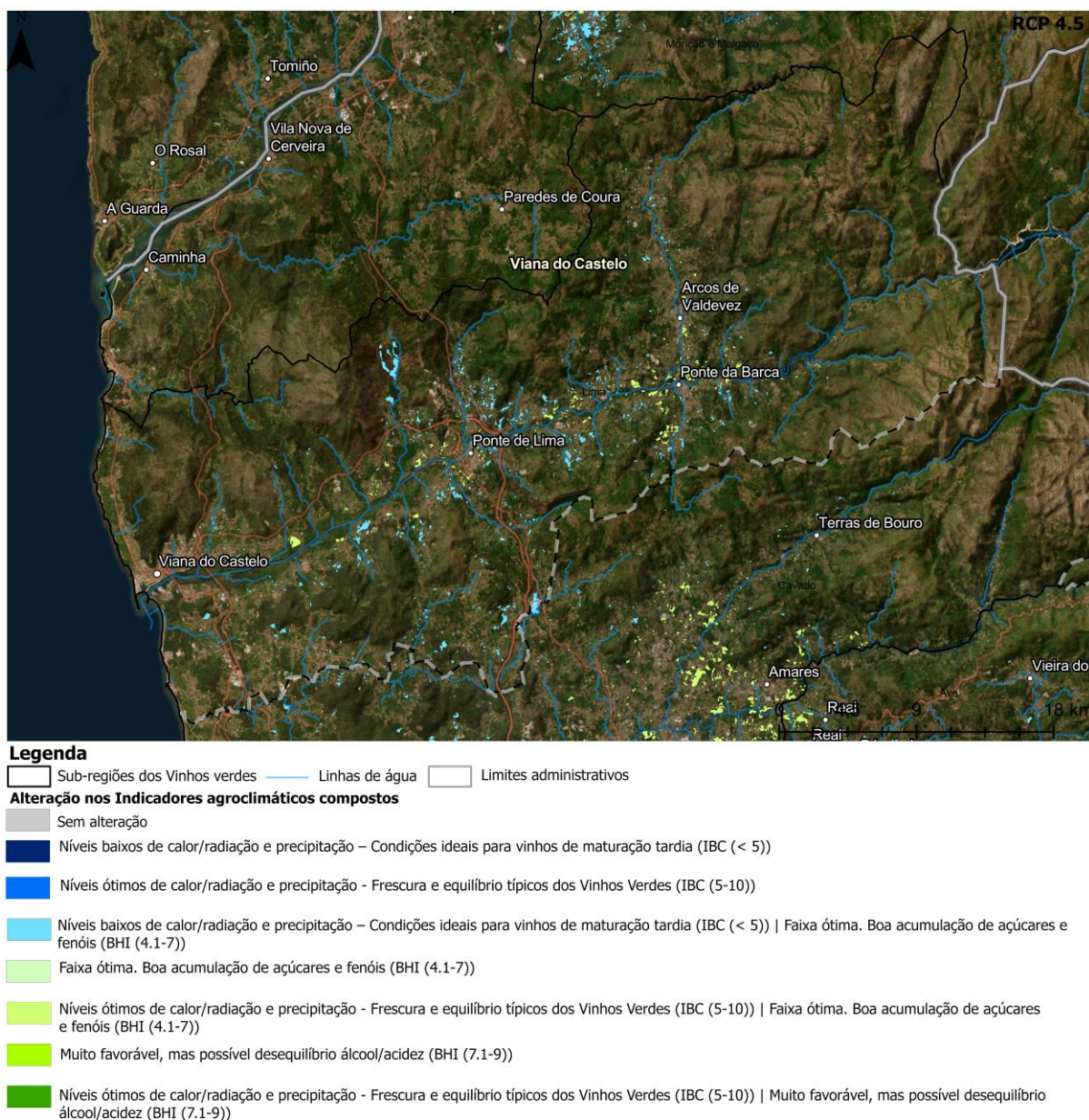


Figura 4.66. Alteração nos indicadores agroclimáticos compostos RCP 4.5.

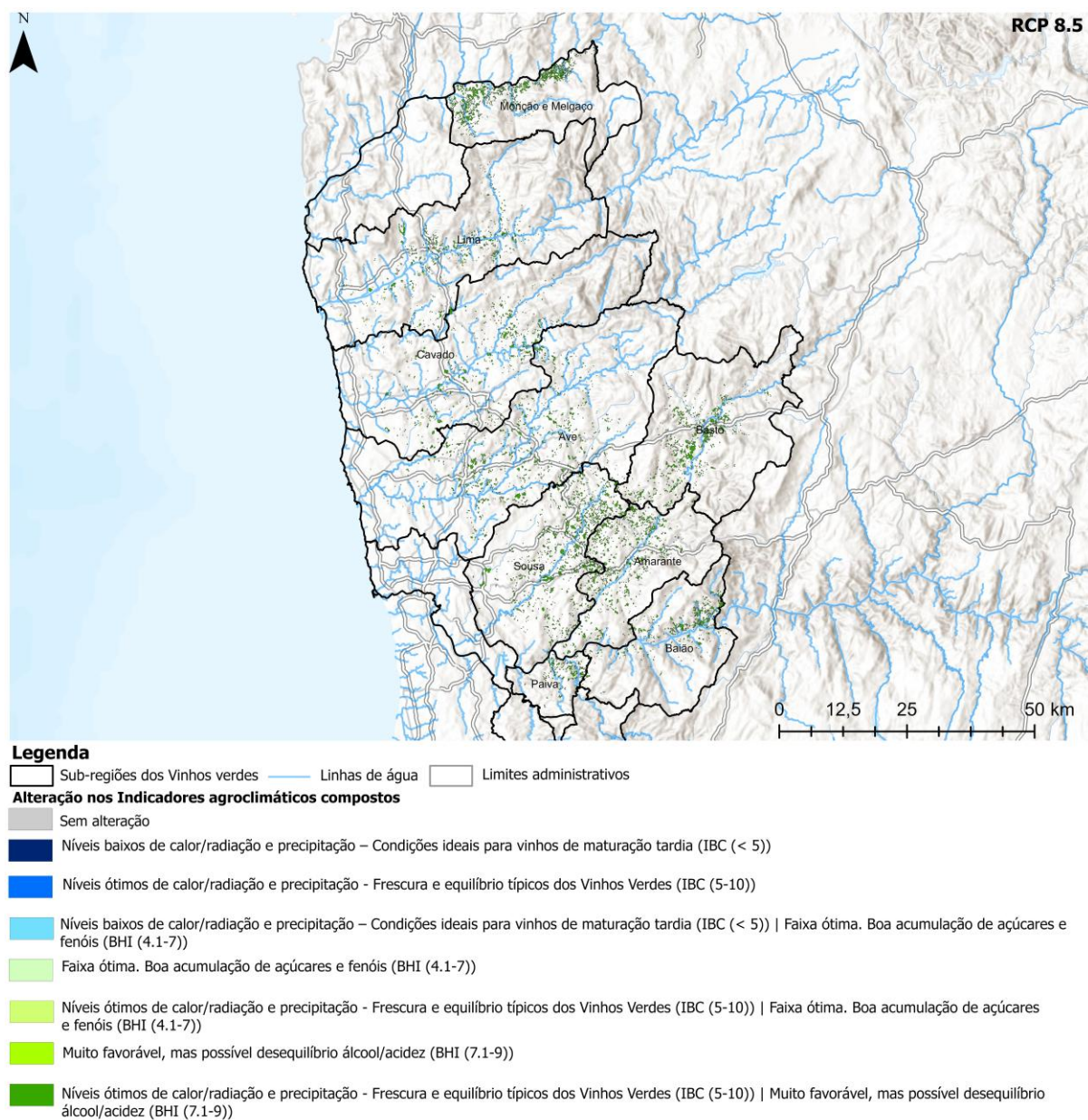


Figura 4.67. Alteração nos indicadores agroclimáticos compostos RCP 8.5.

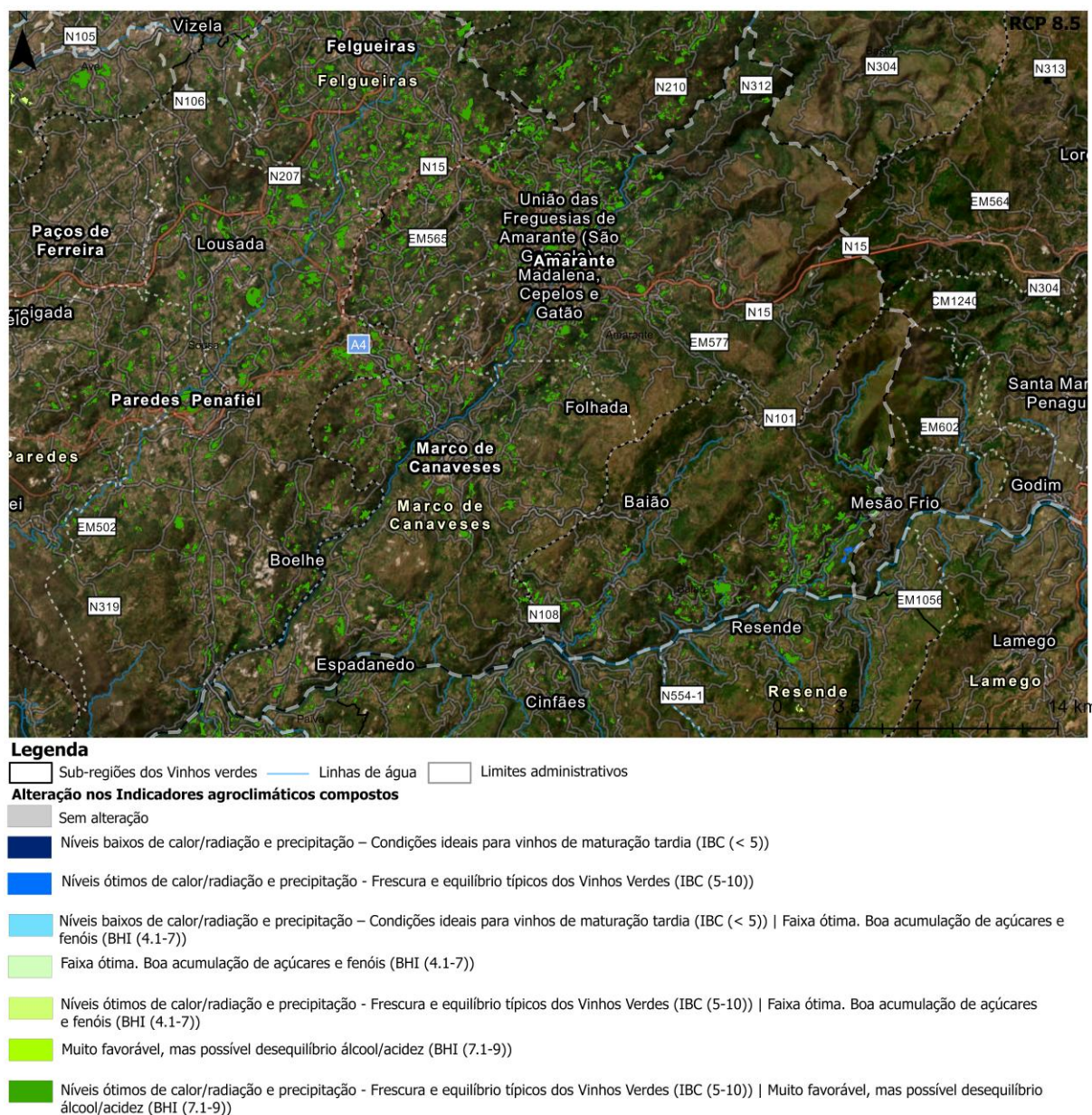


Figura 4.68. Alteração nos indicadores agroclimáticos compostos RCP 8.5.



Figura 4.69. Alteração nos indicadores agroclimáticos compostos RCP 8.5.

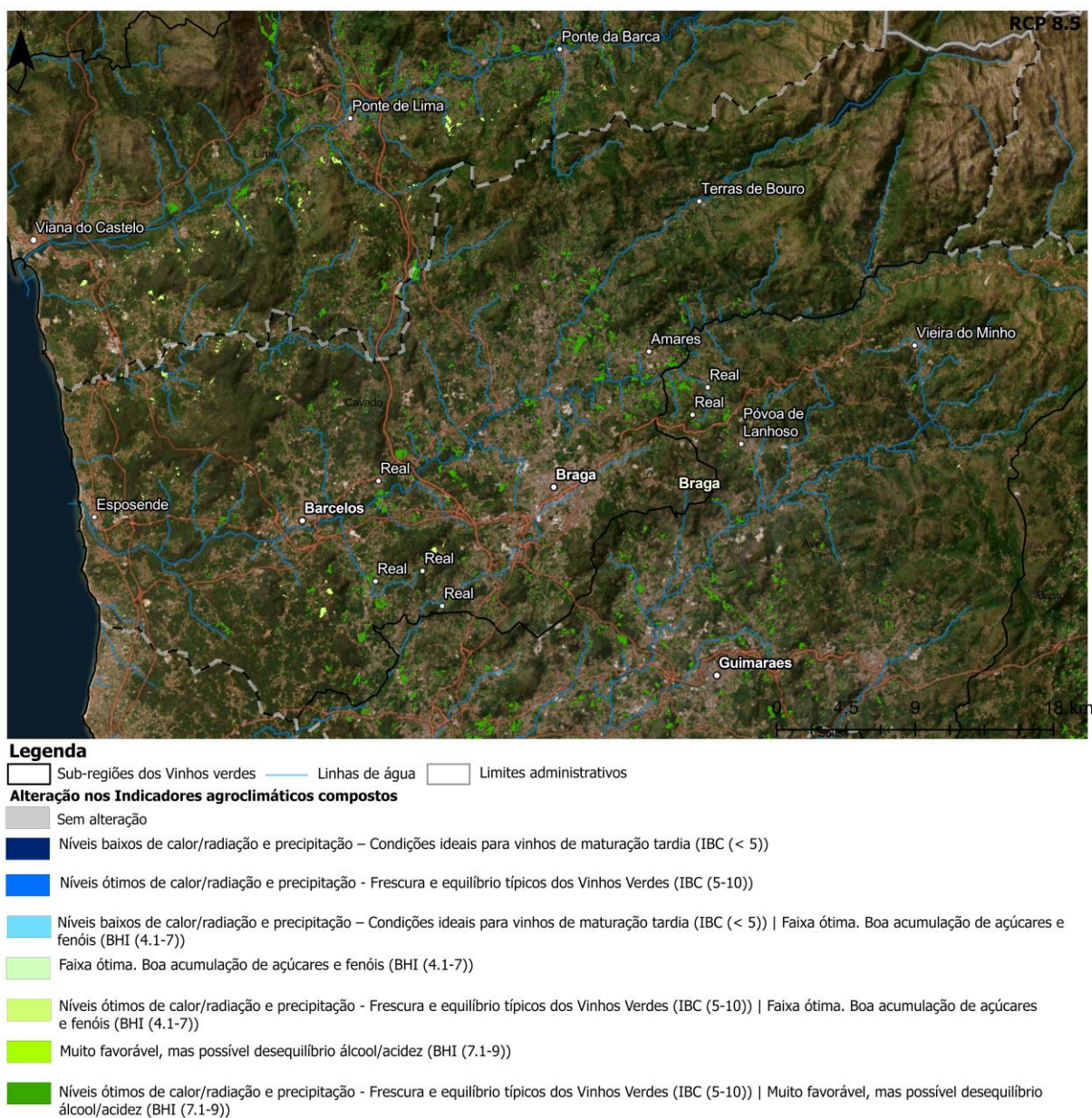


Figura 4.70. Alteração nos indicadores agroclimáticos compostos RCP 8.5.

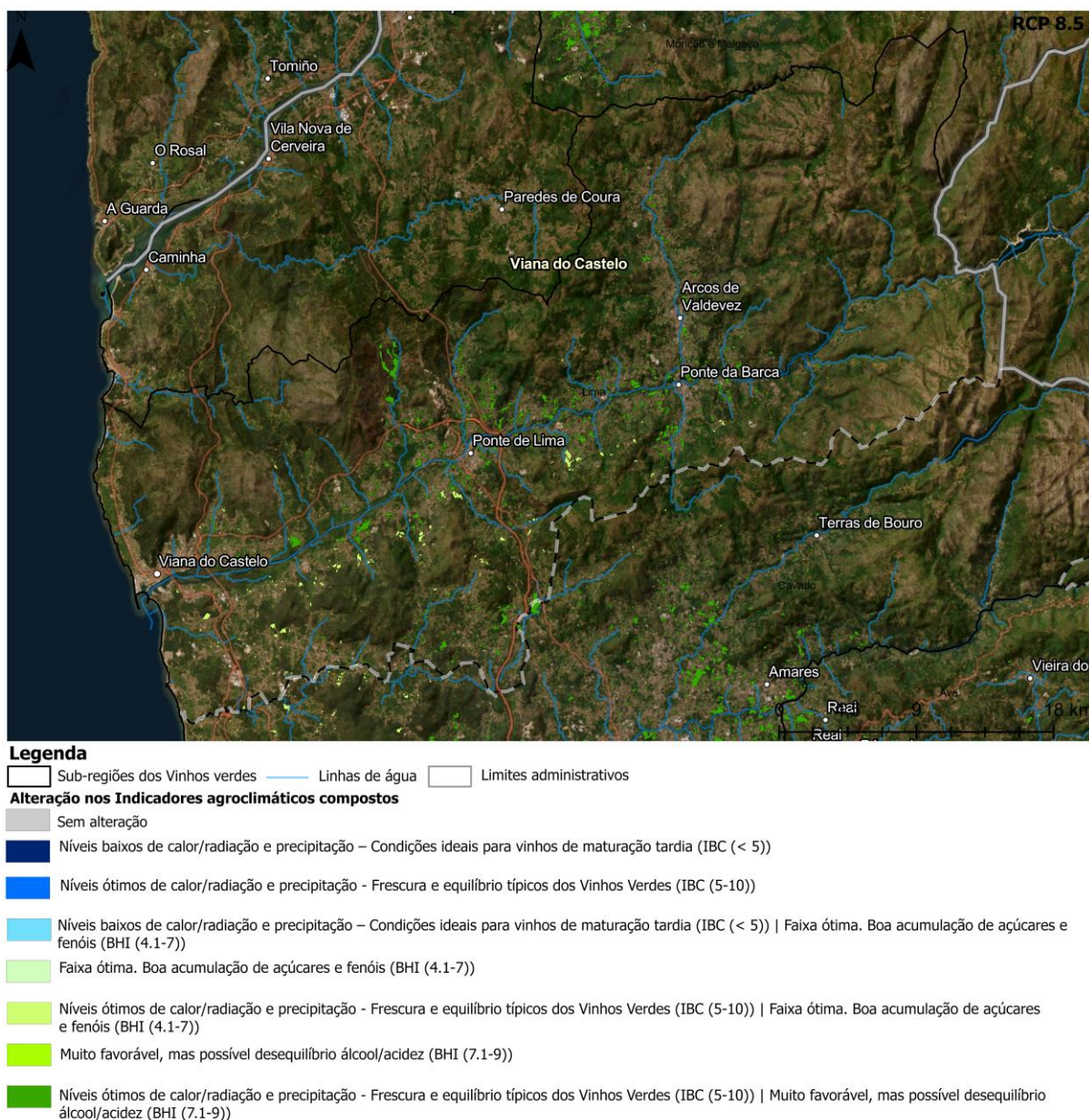


Figura 4.71. Alteração nos indicadores agroclimáticos compostos RCP 8.5.

4.5.5. Intensidade da alteração bioclimática

A cartografia da intensidade da alteração bioclimática permite identificar, com base na análise da evolução das Unidades Bioclimáticas Homogêneas (UBH), os territórios da Região dos Vinhos Verdes (RDVV) onde se verificam maiores disrupções na coerência climática ao longo do tempo. A leitura dos resultados revela padrões distintos entre os cenários RCP 4.5 e RCP 8.5, mas também zonas com tendência comum de alteração significativa (Figura 4.72 a Figura 4.79) (Anexo V - Figura A5.1 a Figura A5.9).

O cenário RCP 4.5, indica uma alteração predominantemente moderada em grande parte da região, com focos de alteração intensa sobretudo nas zonas de transição entre o litoral e o interior. Estas áreas correspondem, em muitos casos, a territórios de cotas intermédias, como:

- i. Interior do Cávado e Ave (Braga, Guimarães, Póvoa de Lanhoso, Fafe);
- ii. Encostas médias do Lima, Arcos de Valdevez e Ponte da Barca;
- iii. Zonas interiores de Vila Verde e Paredes de Coura.

Nestes territórios, pequenas variações nos índices climáticos acumulados são suficientes para induzir mudança de grupo UBH, refletindo a instabilidade agroclimática latente. Em contraste, vastas áreas das sub-regiões de Sousa, Amarante, Paiva e Baião, apesar de apresentarem um agravamento visível nos índices térmicos e hídricos, mantêm-se no mesmo grupo UBH, resultando em valores baixos de alteração.

No cenário RCP 8.5, o padrão altera-se significativamente. A alteração muito intensa passa a dominar zonas da região, com particular incidência em:

- i. Setores intermédios e altos de Cávado, Lima, Ave, Basto e Sousa;
- ii. Encostas interiores de Monção-Melgaço e Ponte da Barca;
- iii. Zonas frescas de altitude média que passam a integrar grupos UBH com maior pressão térmica e hídrica.

Simultaneamente, nas zonas mais quentes e de baixa altitude, como Felgueiras, Lousada, Baião, Marco de Canaveses ou Amarante, a intensidade da alteração tende a ser mais reduzida, mesmo quando os indicadores climáticos evidenciam agravamentos substanciais.

Por outro lado, as zonas de cotas elevadas, como as encostas a Norte do Lima, o Alto Minho (Melgaço, Castro Laboreiro), o Gerês, e zonas altas de Basto e Arcos de Valdevez, mantêm valores baixos de alteração em ambos os cenários, representando núcleos de estabilidade bioclimática que poderão funcionar como zonas de refúgio no futuro vitivinícola da região. A comparação entre os dois cenários mostra uma acentuada ampliação das zonas com alteração intensa ou muito intensa, reforçando a tendência geral de transição climática estrutural, sobretudo nos territórios de transição entre o litoral e o interior.

A cartografia da intensidade de alteração bioclimática permite uma leitura sintética e espacialmente explícita da magnitude das transições agroclimáticas nas Unidades Bioclimáticas Homogéneas (UBH) da Região dos Vinhos Verdes (RDVV), nos cenários climáticos RCP 4.5 e RCP 8.5. Ao traduzir o número de transições entre grupos UBH ao longo

do tempo, esta abordagem oferece uma ferramenta objetiva para identificar áreas com maior ou menor transformação estrutural. Contudo, a sua interpretação deve ser contextualizada com base nos resultados anteriores e nas limitações do método (Figura 4.76 a Figura 4.79) (Anexo V - Figura A5.10 a Figura A5.18).

De forma geral, as zonas que atualmente integram grupos UBH intermédios tendem a registar maiores intensidades de alteração, uma vez que se encontram numa posição do gradiente bioclimático onde existem múltiplas categorias adjacentes para transitar. Em contrapartida, as zonas que já pertencem aos grupos mais quentes ou mais secos — como os vales do Sousa, Amarante, Baião e Paiva —, ainda que apresentem um agravamento claro nos índices térmicos e hídricos, não evidenciam uma alteração intensa ao nível dos grupos UBH, precisamente porque já se encontram nos extremos do sistema de classificação, não existindo grupos superiores para onde possam evoluir. Este padrão não deve ser interpretado como ausência de impacto climático, mas sim como uma característica estrutural do modelo, que reforça a utilidade da abordagem quando aplicada em territórios com maior variabilidade bioclimática. A mesma lógica se aplica às zonas de elevada altitude e fresca (ex: Soajo, Castro Laboreiro, Melgaço ou Terras de Bouro), onde a estabilidade observada reflete mais a posição no extremo inferior do gradiente do que uma invariabilidade real das condições.

Assim, a análise da intensidade de alteração bioclimática é particularmente eficaz para identificar transições relevantes nas zonas de maior sensibilidade climática, mas pode subestimar alterações reais em zonas já classificadas como climática ou fisiologicamente mais extremas. Uma possível limitação desta abordagem resulta também da dimensão geográfica da área de estudo. A restrição à RDVV condiciona a abrangência do sistema de grupos UBH, limitando a variação climática capturada. A utilização de uma área mais ampla — por exemplo, à escala do Noroeste Peninsular — permitiria construir uma base de grupos UBH mais diversa e sensível, com maior poder discriminativo, particularmente nos extremos do gradiente. Em todo o caso, a análise da intensidade de alteração bioclimática complementa de forma valiosa os restantes indicadores discutidos, permitindo uma leitura mais territorializada das dinâmicas de transformação climática. Quando integrada com os índices térmicos, hídricos e compostos, contribui para uma visão mais holística da vulnerabilidade e da capacidade de resposta das diferentes sub-regiões vitivinícolas.

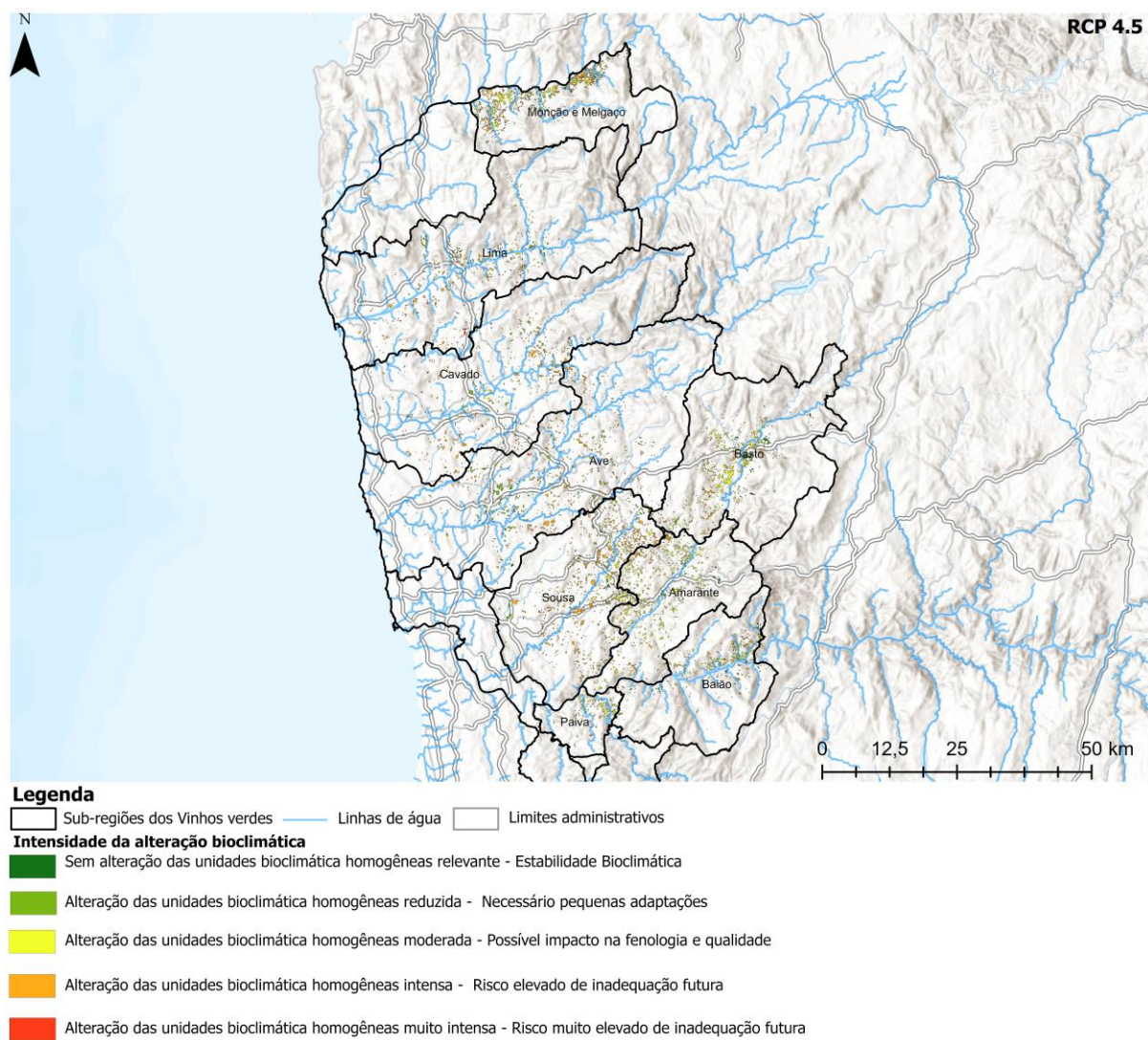


Figura 4.72. Alteração na intensidade da alteração bioclimática no RCP 4.5.

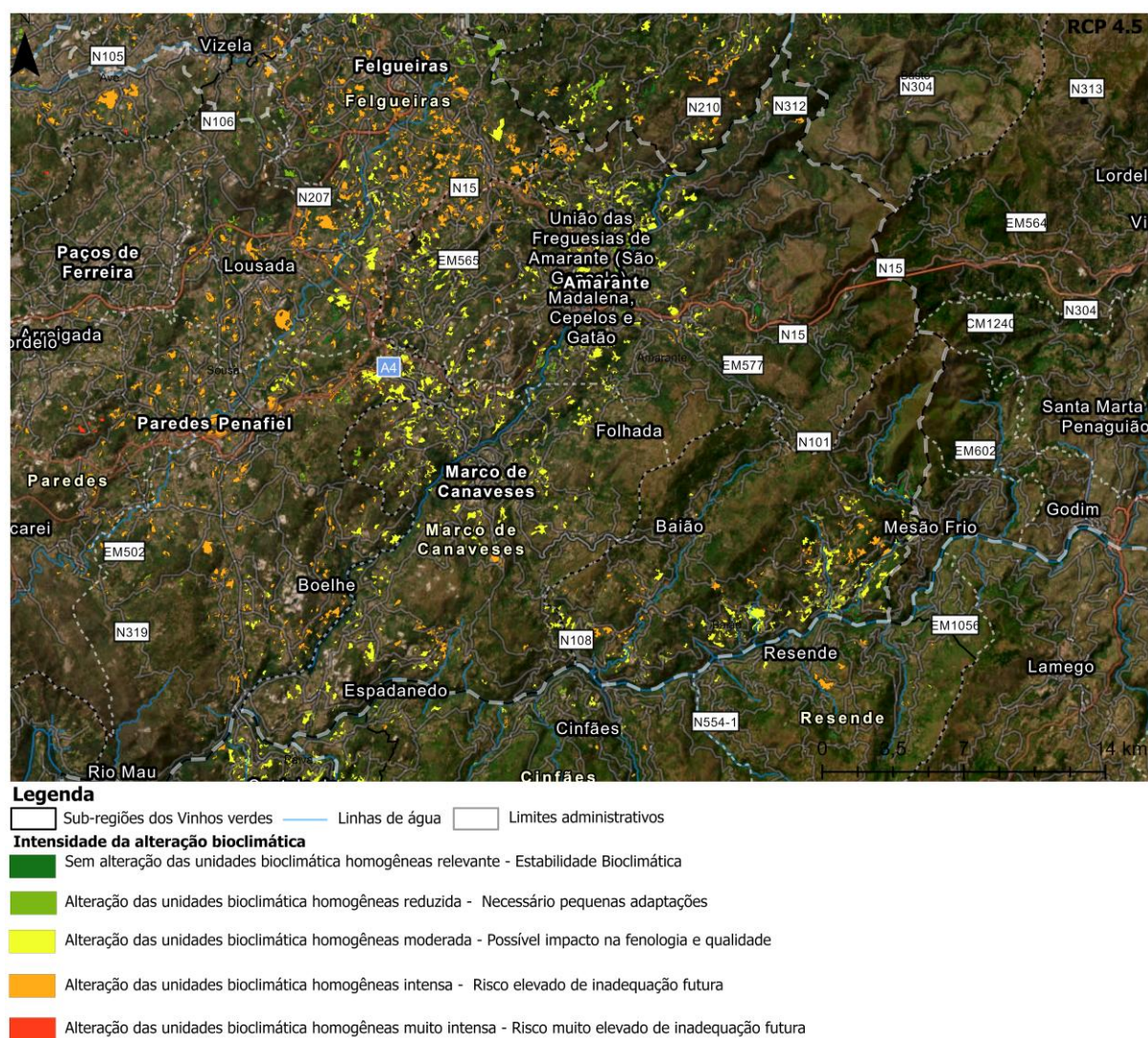


Figura 4.73. Alteração na intensidade da alteração bioclimática no RCP 4.5.

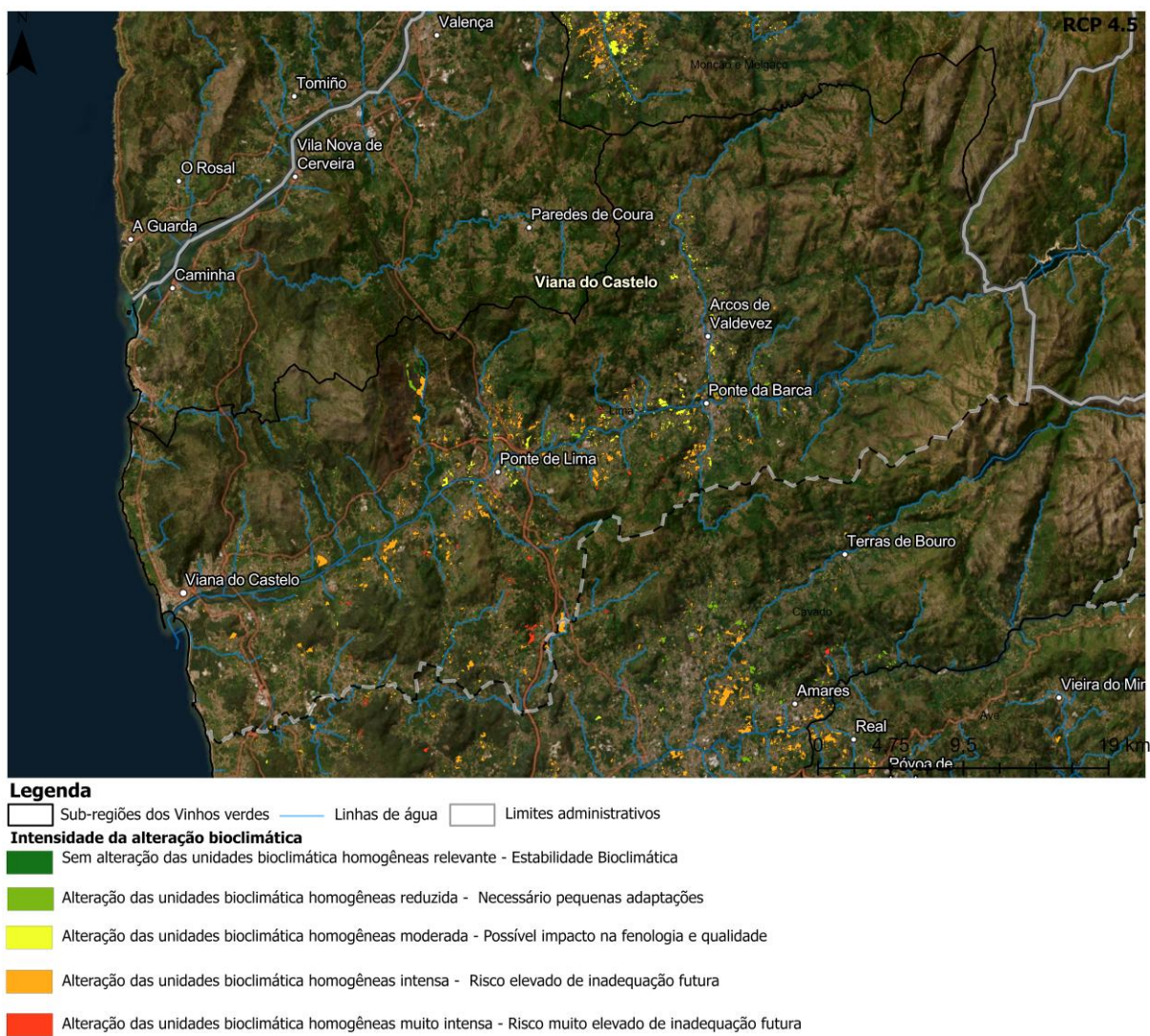


Figura 4.75. Alteração na intensidade da alteração bioclimática no RCP 4.5.

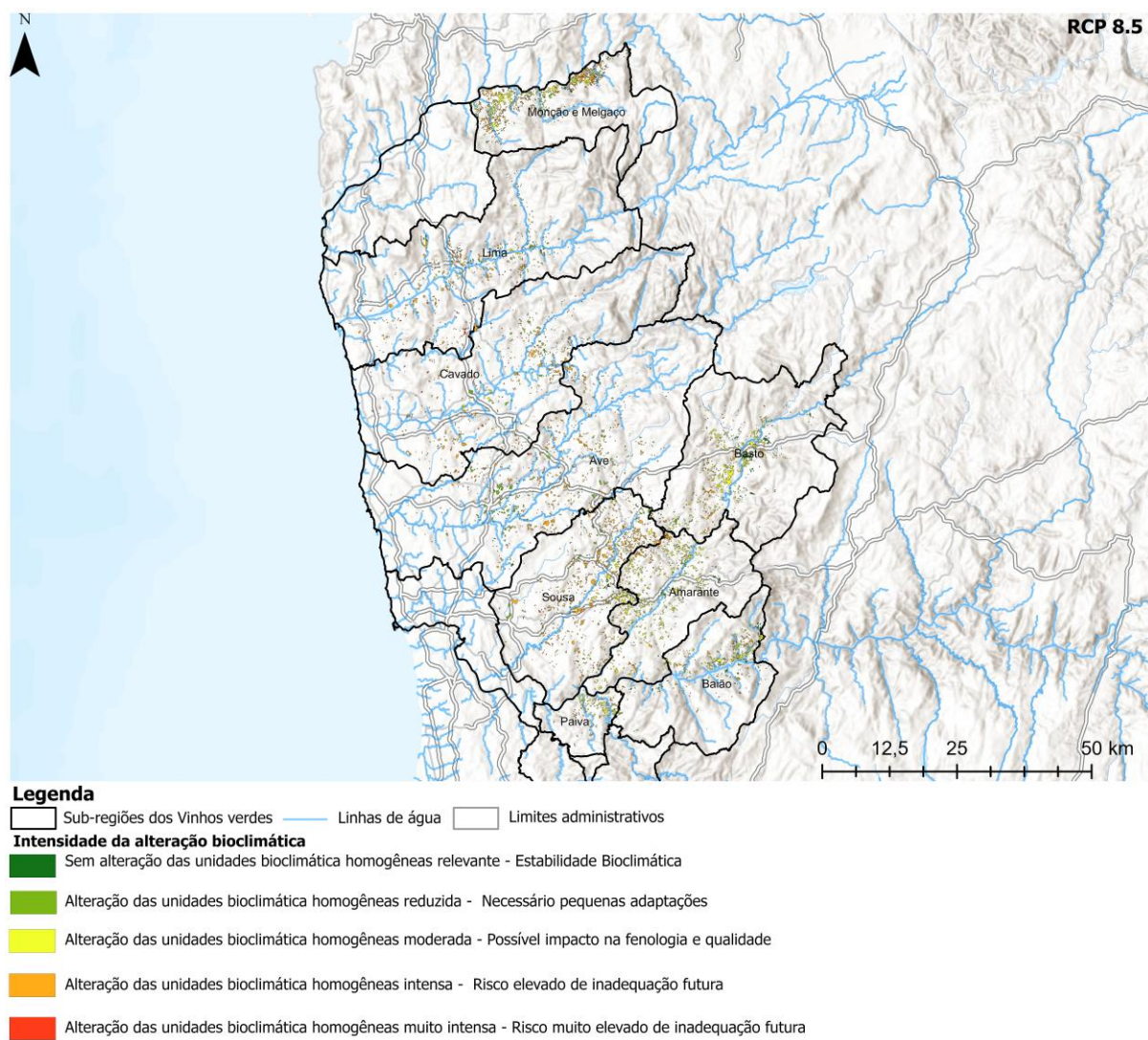


Figura 4.76. Alteração na intensidade da alteração bioclimática no RCP 8.5.

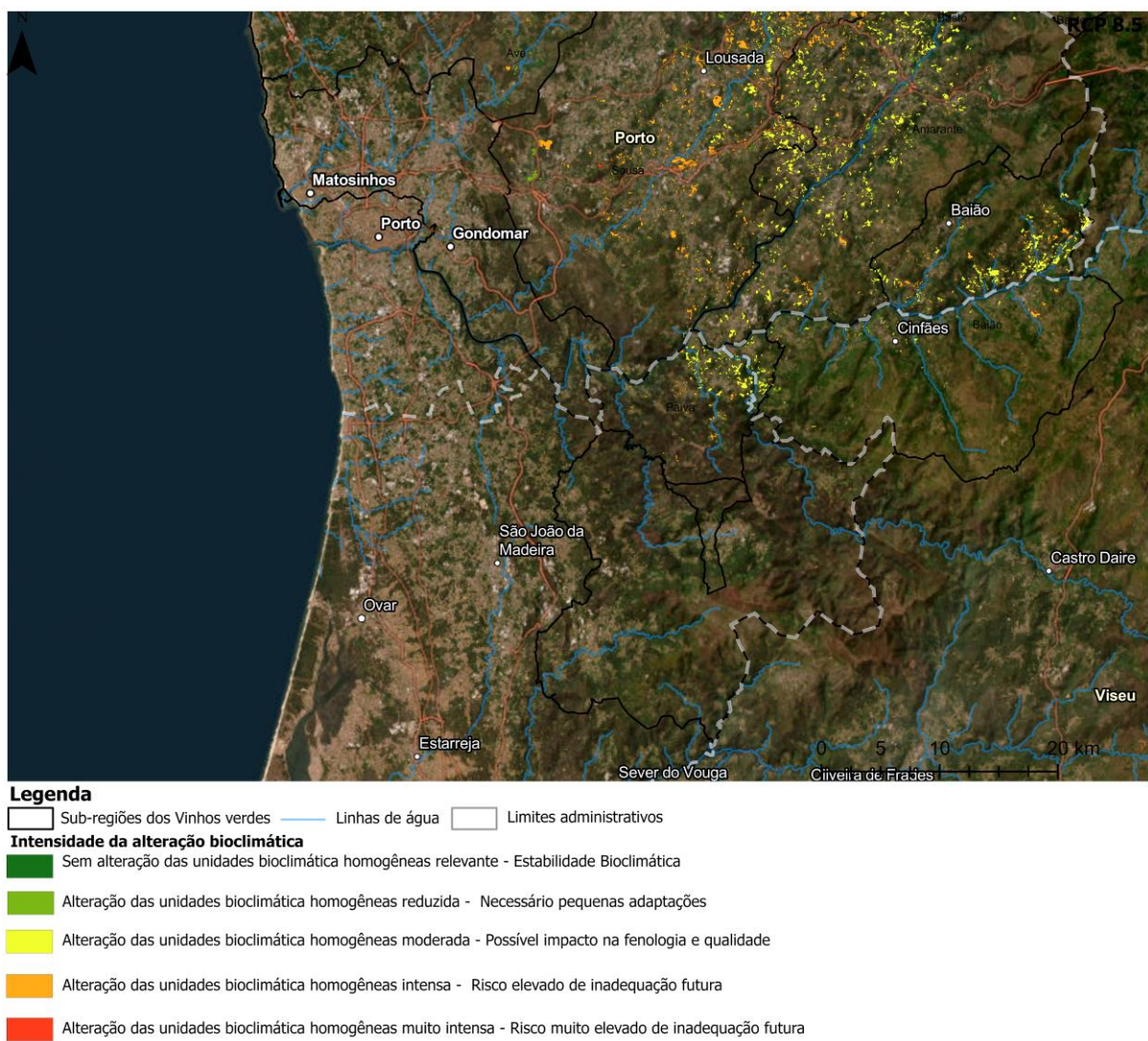


Figura 4.77. Alteração na intensidade da alteração bioclimática no RCP 8.5.

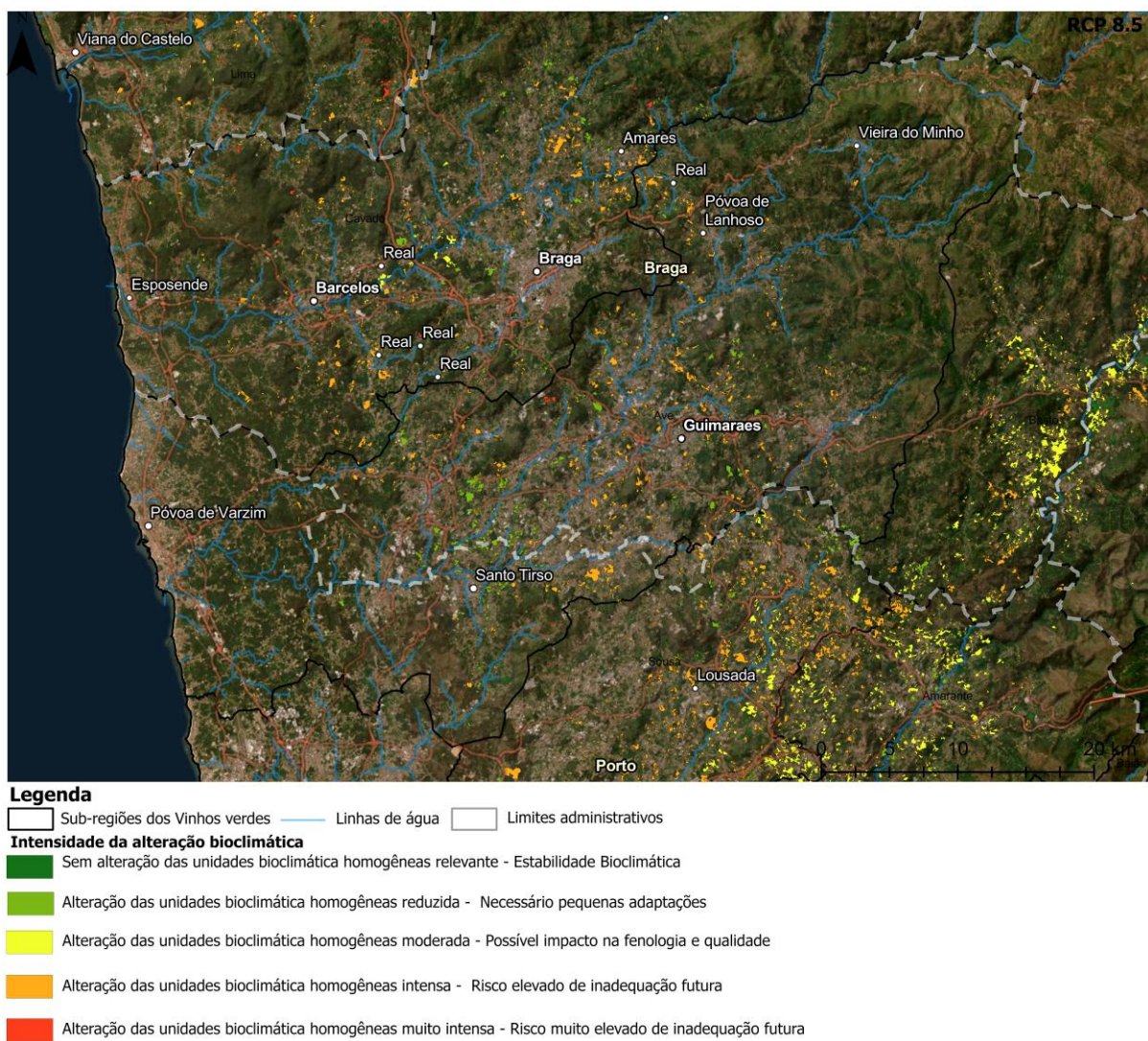


Figura 4.78. Alteração na intensidade da alteração bioclimática no RCP 8.5.

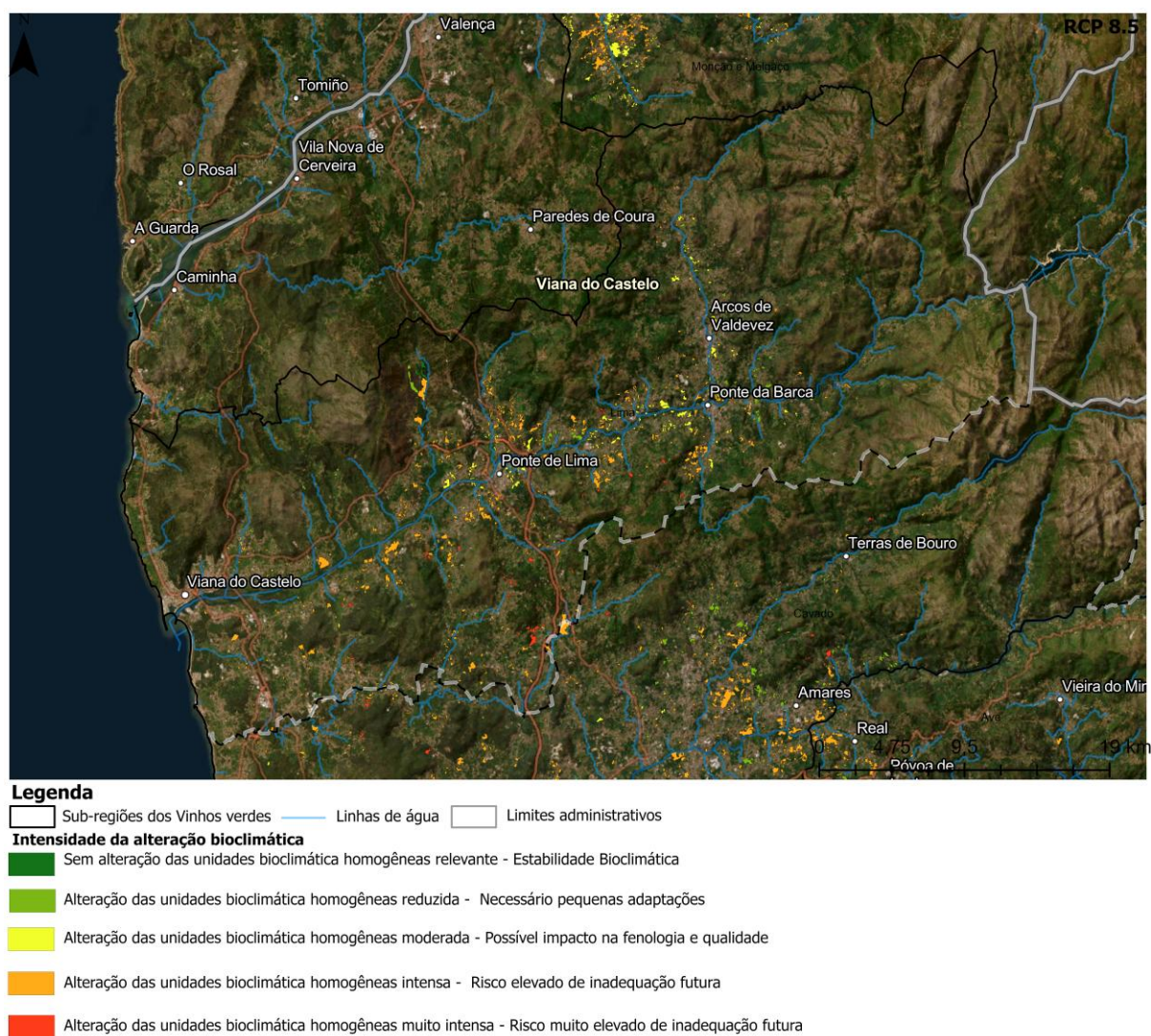


Figura 4.79. Alteração na intensidade da alteração bioclimática no RCP 8.5.

A análise integrada dos diversos indicadores agroclimáticos aplicados à Região dos Vinhos Verdes (RDVV) permite construir uma visão abrangente e detalhada das dinâmicas de transformação induzidas pelas alterações climáticas. Ao longo deste trabalho, foram analisados de forma sistemática os principais fatores determinantes da aptidão vitivinícola — desde os índices térmicos sazonais e de maturação, até ao balanço hídrico, e culminando com uma avaliação sintética da intensidade de alteração das Unidades Bioclimáticas Homogêneas (UBH). A leitura cruzada dos diferentes índices revela um conjunto de tendências convergentes, mas também algumas dissonâncias metodológicas relevantes, que merecem destaque.

Tanto no cenário RCP 4.5 como, de forma mais acentuada, no RCP 8.5, observa-se uma clara intensificação do potencial térmico acumulado (IH, IW), do stress térmico durante o pico do verão (HSI), e da temperatura média durante o período de maturação (ATHM). Esta evolução reflete-se numa antecipação do ciclo vegetativo, aumento da taxa de acumulação de açúcares e degradação acelerada da acidez natural e dos compostos aromáticos — fatores que ameaçam a identidade sensorial dos vinhos da RDVV, especialmente nas sub-regiões do interior. Paralelamente, os cenários futuros apontam para um aumento significativo da evapotranspiração potencial (ET0) e uma redução da precipitação útil no período crítico de amadurecimento (PP0809), conduzindo a desequilíbrios hídricos traduzidos em valores decrescentes do índice hidrotérmico de Selianinov. Esta realidade é particularmente crítica nas zonas de menor altitude, como o Sousa, Amarante, Paiva ou parte do Ave, onde a conjugação entre déficit hídrico e stress térmico compromete a produtividade e a qualidade enológica.

Os indicadores compostos reforçam esta leitura de vulnerabilidade. A conjugação entre calor, radiação e déficit hídrico permite identificar zonas que, apesar de manterem alguma aptidão térmica, já não garantem o equilíbrio necessário entre maturação, frescura e tipicidade. Destacam-se aqui as sub-regiões interiores e de cota baixa, onde a combinação de valores ótimos de IBC com BHI elevados denuncia desequilíbrios enológicos cada vez mais comuns, nomeadamente sobrematuração precoce, perda de acidez e menor estabilidade aromática.

A análise da intensidade da alteração bioclimática, medida através da contagem de transições entre grupos UBH, oferece uma leitura territorial da magnitude das alterações, mas com uma característica estrutural que importa compreender: as maiores intensidades de alteração ocorrem nas zonas com classificação UBH intermédia, que dispõem de maior margem de transição entre grupos. Por outro lado, as zonas já enquadradas nos extremos do gradiente bioclimático — como os vales mais quentes ou zonas de elevada altitude — tendem a manter-se no mesmo grupo UBH, mesmo quando os indicadores climáticos evidenciam agravamentos significativos. Tal deve-se à ausência de categorias superiores ou inferiores na tipologia definida. Este comportamento não invalida a utilidade da abordagem, mas sim reforça a importância de interpretar os resultados à luz da estrutura do modelo. Zonas como Baião, Amarante ou Paiva, por exemplo, não registam alterações intensas ao nível das UBH, não porque se mantenham estáveis, mas porque já se encontram nos grupos mais extremos da classificação. De igual modo, zonas muito frescas podem manter o mesmo grupo UBH, apesar de perderem parte da sua resiliência climática. Esta limitação poderá ser atenuada em estudos

futuros através da expansão da área de análise, de forma a capturar um maior número de grupos UBH e aumentar a sensibilidade do sistema nos extremos do gradiente climático.

A conjugação de todos os indicadores revela uma transformação profunda e assimétrica da paisagem vitivinícola da RDVV, com deslocação do centro de aptidão climática, compressão das janelas de vindima, erosão da diversidade enológica e necessidade urgente de adaptação. A análise integrada confirma que:

- i. A vitivinicultura tradicional será progressivamente desafiada nos vales interiores;
- ii. Zonas de altitude e influência atlântica ganharão crescente importância estratégica;
- iii. A gestão adaptativa terá de ser diferenciada por sub-região, considerando os perfis climáticos específicos;

Os indicadores utilizados oferecem um sistema complementar e coerente de leitura, sendo as UBH uma ferramenta promissora, mas dependente do alcance geográfico e da calibragem das classes. Num contexto de alterações climáticas aceleradas, a sustentabilidade da vitivinicultura na RDVV passará inevitavelmente por novos critérios de zonagem vitivinícola, inovação técnica e atualização das políticas públicas, com base em evidência científica sólida e territorialmente situada.

5. CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo principal a caracterização bioclimática e a definição de Unidades Bioclimáticas Homogêneas (UBH) na Região Demarcada dos Vinhos Verdes (RDVV), num contexto de alterações climáticas, integrando variáveis e índices climáticos relevantes para a vitivinicultura e aplicando metodologias de análise multivariada e classificação espacial. Para tal, foi desenvolvida uma abordagem metodológica robusta que combinou dados climáticos históricos e projetados, o cálculo de índices bioclimáticos de reconhecida importância fenológica e agronómica, a análise de componentes principais (PCA) para redução da dimensionalidade, e a classificação supervisionada e não supervisionada para a delimitação das UBH. Adicionalmente, foi criado um sistema de diagnóstico agroclimático orientado para o setor vitivinícola, capaz de traduzir a informação climática em recomendações práticas de gestão e adaptação.

A caracterização bioclimática da RDVV evidenciou um território de elevada heterogeneidade climática, influenciado por gradientes de altitude, continentalidade e proximidade atlântica. Os padrões observados nos índices térmicos (Huglin, Winkler, Branas) confirmaram um aumento do potencial térmico em cenários futuros, especialmente sob RCP 8.5, acompanhado por maior frequência de condições de stress térmico durante a maturação. Nos índices hídricos (Selianinov, evapotranspiração potencial, BBLI), verificou-se tendência para défices hídricos mais acentuados, com implicações diretas no equilíbrio fisiológico da videira, na qualidade das uvas e na tipicidade dos vinhos. Estas alterações projetadas indicam que, apesar de um potencial benefício para variedades de maturação mais tardia, existe risco acrescido de sobrematuração, perda de acidez e alterações no perfil aromático, particularmente nas sub-regiões mais interiores e de menor influência marítima. A análise individualizada das sub-regiões permitiu identificar respostas diferenciadas ao longo dos cenários temporais e climáticos. As sub-regiões mais interiores, como Basto, Amarante e Sousa, evidenciaram incrementos mais acentuados nos índices térmicos e uma redução marcada nos indicadores hídricos, refletindo maior vulnerabilidade ao stress térmico e hídrico. Em contrapartida, sub-regiões de maior influência atlântica, como Monção e Melgaço, Lima ou Cávado, embora apresentem um aumento térmico significativo, mantêm níveis relativamente mais elevados de precipitação e menores valores de evapotranspiração, conferindo-lhes maior resiliência hídrica no curto e médio prazo. Contudo, mesmo nestas zonas, observa-se uma tendência para encurtamento do ciclo vegetativo e antecipação das fases fenológicas, o que poderá afetar a

expressão aromática e a tipicidade de castas emblemáticas como o Alvarinho e o Loureiro. Esta diferenciação regional sublinha a necessidade de estratégias de adaptação específicas por sub-região, considerando as particularidades climáticas projetadas e o risco de convergência bioclimática que poderá reduzir a diversidade de “terroirs” na RDVV.

A análise de componentes principais (PCA) permitiu sintetizar a variabilidade climática da RDVV em poucos eixos independentes, que explicaram grande parte da variância total. No cenário presente, o PC1 refletiu predominantemente o gradiente térmico-continentalidade (associado aos índices de Huglin, Winkler e Branas), enquanto o PC2 esteve fortemente relacionado com o gradiente hídrico (índice de Selianinov, evapotranspiração e precipitação na vindima). Sob cenários futuros, observou-se um aumento consistente da contribuição das variáveis térmicas para o PC1 e uma diminuição da variabilidade hídrica explicada pelo PC2, evidenciando que a intensificação do aquecimento tende a sobrepor-se ao papel diferenciador da disponibilidade hídrica. Esta evolução sugere uma progressiva simplificação dos padrões bioclimáticos regionais, com risco de perda de singularidade em zonas atualmente distintas.

A classificação das Unidades Bioclimáticas Homogéneas (UBH), derivada dos scores da PCA, permitiu identificar áreas com combinações climáticas específicas e coerentes, que no cenário presente apresentam boa correspondência com a distribuição atual da vinha na região. A evolução temporal revelou que, sob cenários futuros, ocorre uma deslocação das UBH para altitudes e latitudes mais elevadas, acompanhada por uma redução das classes climáticas mais frescas e húmidas e um aumento das mais quentes e secas. O indicador hierárquico de intensidade de alteração confirmou que estas mudanças não se limitam à dimensão espacial, mas traduzem-se em alterações estruturais nas combinações climáticas, com perda de singularidade em algumas unidades e maior homogeneização de condições em zonas atualmente distintas. As transformações mais severas concentram-se nas sub-regiões interiores, onde a intensificação térmica e o défice hídrico projetados poderão exigir alterações significativas na escolha varietal e nas práticas culturais.

O sistema de diagnóstico agroclimático desenvolvido constituiu uma ferramenta operacional inovadora, concebida para traduzir dados climáticos complexos em informação de fácil interpretação e aplicação prática. Estruturado em quatro grupos funcionais — potencial térmico acumulado, temperaturas críticas de maturação, indicadores hidrotérmicos e indicadores compostos, o sistema associa intervalos de valores a códigos padronizados, permitindo a leitura direta dos riscos e oportunidades para a vitivinicultura regional.

Esta abordagem revelou padrões distintos e espacialmente coerentes: i) O grupo térmico evidenciou zonas interiores com acumulação de calor superior a 2700 (IH) e stress térmico frequente ($> 30\text{ }^{\circ}\text{C HSI}$), antecipando maturações e encurtando janelas de vindima; ii) O grupo de temperaturas críticas indica que a redução da frescura noturna ($\text{IFN} > 18\text{ }^{\circ}\text{C}$) em áreas chave compromete a preservação de aromas e acidez, sobretudo no RCP 8.5; iii) O grupo hidrotérmico indicou défices crescentes ($k < 1$) e precipitação crítica no período de colheita ($< 40\text{ mm}$), impondo maior pressão sobre práticas de conservação hídrica e eventual irrigação; e iv) Os indicadores compostos indicam que, em várias sub-regiões, a conjugação de calor excessivo e défice hídrico traduz-se num perfil agroclimático pouco compatível com a tipicidade tradicional dos Vinhos Verdes.

Ao integrar estes diagnósticos específicos com as Unidades Bioclimáticas Homogéneas (UBH), obtém-se uma dupla perspetiva: a escala macro, que identifica zonas climáticas distintas e a sua evolução, e a escala micro, que traduz essa evolução em riscos concretos para cada sub-região ou mesmo parcela. Esta articulação reforça a capacidade de planeamento adaptativo, permitindo orientar medidas como a reorientação varietal, a modificação dos sistemas de condução, o ajuste da carga de fruta, a implementação de sombreamento e a otimização das datas de vindima. Deste modo, o sistema de diagnóstico não se limita a caracterizar o presente e projetar o futuro, mas constitui um instrumento de apoio à decisão com aplicabilidade imediata no contexto vitivinícola regional, maximizando a utilidade prática das análises espaciais e garantindo a coerência entre a ciência climática e a gestão produtiva.

No seu conjunto, os resultados sugerem que a vitivinicultura enfrentará alterações significativas nas próximas décadas, com impactos diferenciados entre sub-regiões. As áreas mais vulneráveis concentram-se no interior e nas zonas de transição montanha-vale, onde o aumento das temperaturas e a redução relativa da precipitação no período crítico poderão exigir mudanças de práticas culturais, reconversão varietal e adoção de tecnologias de mitigação, como sistemas de condução adaptados, sombreamento e rega deficitária controlada. Nas zonas litorais e de maior influência atlântica, embora o aquecimento possa trazer benefícios para a maturação de certas castas, há risco de perda de identidade climática e aproximação aos perfis de regiões atualmente mais quentes.

Apesar de apresentar um quadro robusto e coerente de tendências, este estudo não integrou, por opção metodológica, variáveis edáficas e topográficas detalhadas, nem abordou a variabilidade intramensal e eventos extremos. Estes aspetos representam oportunidades para aprofundamento em trabalhos futuros, podendo aumentar ainda mais a precisão e aplicabilidade dos resultados. No caso das Unidades Bioclimáticas Homogéneas (UBH), a metodologia demonstrou-se sólida e eficaz para captar as principais dinâmicas espaciais e estruturais da aptidão vitivinícola. Contudo, a sua sensibilidade poderá ser otimizada através da ampliação da área de análise e da calibragem das classes nos extremos do gradiente bioclimático, reforçando a capacidade do modelo para captar alterações em contextos climáticos mais extremos.

O modelo desenvolvido, pela sua robustez, carácter replicável e transferível, constitui uma base científica sólida e operacional para apoiar o planeamento e a gestão sustentável da vitivinicultura em contexto de alterações climáticas, não só na Região dos Vinhos Verdes, mas também noutras regiões vitivinícolas com desafios semelhantes. Em síntese, a integração de índices bioclimáticos, análise multivariada e classificação hierárquica revelou-se uma abordagem eficaz para compreender e projetar a aptidão vitivinícola da RDVV. A informação produzida constitui uma base científica sólida para apoiar políticas públicas, decisões privadas e estratégias adaptativas, garantindo não apenas a sustentabilidade produtiva, mas também a preservação da tipicidade e do património vitivinícola regional.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Afonso, I., Ferraz, A., Rodrigues, A. S., Vale, A., Mendes, S., Alonso, J., Domingues, J., Alves, M., & Rodrigues, A. cristina. (n.d.). *Circular Economy in the Wine Sector: assessment of the potential of seeds of Portuguese grape varieties for oil production and by-products development Afonso*,.
- Akbar, T. A., Javed, A., Ullah, S., Ullah, W., Pervez, A., Akbar, R. A., Javed, M. F., Mohamed, A., & Mohamed, A. M. (2022). Principal Component Analysis (PCA)–Geographic Information System (GIS) Modeling for Groundwater and Associated Health Risks in Abbottabad, Pakistan. *Sustainability* 2022, Vol. 14, Page 14572, 14(21), 14572. <https://doi.org/10.3390/SU142114572>
- Alikadic, A., Pertot, I., Eccel, E., Dolci, C., Zarbo, C., Caffarra, A., De Filippi, R., & Furlanello, C. (2019). The impact of climate change on grapevine phenology and the influence of altitude: A regional study. *Agricultural and Forest Meteorology*, 271, 73–82. <https://doi.org/10.1016/J.AGRFORMET.2019.02.030>
- Allaman, H. H., Goyette, S., Dubuis, P.-H., & Kasparian, J. (2017). *Future Viability of European Vineyards using Bioclimatic Climate Analogues*.
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (2006). ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN *Evapotranspiración del cultivo Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. <http://www.fao.org/docrep/009/x0490s/x0490s00.htm>
- Alsafadi, K., Mohammed, S., Habib, H., Kiwan, S., Hennawi, S., & Sharaf, M. (2020a). An integration of bioclimatic, soil, and topographic indicators for viticulture suitability using multi-criteria evaluation: a case study in the Western slopes of Jabal Al Arab—Syria. *Geocarto International*, 35(13), 1466–1488. <https://doi.org/10.1080/10106049.2019.1583291>
- Alsafadi, K., Mohammed, S., Habib, H., Kiwan, S., Hennawi, S., & Sharaf, M. (2020b). An integration of bioclimatic, soil, and topographic indicators for viticulture suitability using multi-criteria evaluation: a case study in the Western slopes of Jabal Al Arab—Syria.

- Geocarto International*, 35(13), 1466–1488.
<https://doi.org/10.1080/10106049.2019.1583291>
- Amerine, M. A., & Winkler, A. J. (1944). Composition and Quality of Musts and Wines of California Grapes. *Hilgardia*, 15(6), 493–675. <https://doi.org/10.3733/hilg.v15n06p493>
- Anderson, J. D., Jones, G. V., Tait, A., Hall, A., & Trought, M. C. T. (2012). Analysis of viticulture region climate structure and suitability in New Zealand. *Journal International Des Sciences de La Vigne et Du Vin*, 46(3), 149–165. <https://doi.org/10.20870/oenone.2012.46.3.1515>
- Andrade, C., Fonseca, A., & Santos, J. A. (2022). *Bioclimatic shifts and land use options for Viticulture in Portugal*. <https://www.oiv.int/public/medias/7909/oiv->
- Andrade, C., Fonseca, A., & Santos, J. A. (2021). Are land use options in viticulture and oliviculture in agreement with bioclimatic shifts in Portugal? *Land*, 10(8). <https://doi.org/10.3390/land10080869>
- Assessment, A., & Kubach, H. K. (n.d.). *Wine Grape Suitability and Quality in a Changing Climate*.
- Atak, A. (2024). Climate change and adaptive strategies on viticulture (*Vitis* spp.). *Open Agriculture*, 9(1). <https://doi.org/10.1515/OPAG-2022-0258>
- Baltazar, M., Castro, I., & Gonçalves, B. (2025a). Adaptation to Climate Change in Viticulture: The Role of Varietal Selection—A Review. In *Plants* (Vol. 14, Issue 1). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/plants14010104>
- Baltazar, M., Castro, I., & Gonçalves, B. (2025b). Adaptation to Climate Change in Viticulture: The Role of Varietal Selection—A Review. *Plants* 2025, Vol. 14, Page 104, 14(1), 104. <https://doi.org/10.3390/PLANTS14010104>
- Bardin-Camparotto, L., Pedro Júnior, M. J., Blain, G. C., & Hernandez, J. L. (2015). Sistema geovitinícola para a produção de uvas para vinho na região do Circuito das Frutas-SP. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 36(4), 900–908. <https://doi.org/10.1590/0100-2945-377/13>
- Battaglini, A., Barbeau, G., Bindi, M., & Badeck, F. W. (2009). European winegrowers' perceptions of climate change impact and options for adaptation. *Regional Environmental Change*, 9(2), 61–73. <https://doi.org/10.1007/s10113-008-0053-9>

- Birks, P. M. (2012). *RELATIONSHIPS BETWEEN CLIMATE INDICES , PHENOLOGY AND BERRY COMPOSITION OF TOURIGA NACIONAL IN THE DÃO WINE REGION* Peter Melville Birks *Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Vinífera EuroMaster – European Master of Sciences of Viticulture and Oen.*
- Bjørnæs, C. (2010). *A guide to Representative Concentration Pathways History of scenarios* Year Name Used in 1990 SA90 First Assessment Report 1992 IS92 Second Assessment Report 2000 SRES – Special Report on Emissions and Scenarios Third and Four Assessment Report 2009 RCP –. <https://www.sei-international.org/mediamanager/documents/A-guide-to-RCPs.pdf>
- Blanco-Ward, D., García Queijeiro, J. M., & Jones, G. V. (2007). Spatial climate variability and viticulture in the Miño River Valley of Spain. In *Vitis* (Vol. 46, Issue 2).
- Blanco-Ward, D., Monteiro, A., Lopes, M., Borrego, C., Silveira, C., Miranda, A., Viceto, C., Rocha, A., Ribeiro, A. C., Andrade, J. V., Feliciano, M., Castro, J. P., Barreales, D., Carlos, C., & Peixoto, C. P. (2017). Grapevine bioclimatic indices in relation to climate change: a case study in the Portuguese Douro Demarcated Region. *III Congresso Ibero-Americano de Empreendedorismo, Energia, Ambiente e Tecnologia*, 297–302.
- Blanco-Ward, D., Monteiro, A., Lopes, M., Borrego, C., Silveira, C., Viceto, C., Rocha, A., Ribeiro, A., Andrade, J., Feliciano, M., Castro, J., Barreales, D., Carlos, C., Peixoto, C., & Miranda, A. (n.d.). *Analysis of climate change indices in relation to wine production: A case study in the Douro region (Portugal)*. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20170901011>
- Blanco-Ward, D., Ribeiro, A., Barreales, D., Castro, J., Verdial, J., Feliciano, M., Viceto, C., Rocha, A., Carlos, C., Silveira, C., & Miranda, A. (2019). Climate change potential effects on grapevine bioclimatic indices: A case study for the Portuguese demarcated Douro Region (Portugal). *BIO Web of Conferences*, 12. <https://doi.org/10.1051/BIOCONF/20191201013>
- Bonada, M., Jeffery, D. W., Petrie, P. R., Moran, M. A., & Sadras, V. O. (2015). Impact of elevated temperature and water deficit on the chemical and sensory profiles of Barossa Shiraz grapes and wines. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 21(2), 240–253. <https://doi.org/10.1111/AJGW.12142>

- Bonfante, A., Basile, A., Langella, G., Manna, P., & Terribile, F. (2011). A physically oriented approach to analysis and mapping of terroirs. *Geoderma*, 167–168, 103–117. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2011.08.004>
- Bonfante, A., Buonanno, M., Vitale, A., Erbaggio, A., Cirillo, C., Guadagno, E., Petracca, F., Amitrano, C., Accomando, F., Gambuti, A., & De Micco, V. (2025). Climate change adaptation strategy of Greco grapevine. *Agricultural Water Management*, 316. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2025.109593>
- Bonfante, A., Monaco, E., Langella, G., Mercogliano, P., Bucchignani, E., Manna, P., & Terribile, F. (2018). A dynamic vitivinicultural zoning to explore the resilience of terroir concept under climate change. *Science of the Total Environment*, 624, 294–308. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.035>
- Bonnefoy, C., Quenol, H., Bonnardot, V., Barbeau, G., Madelin, M., Planchon, O., & Neethling, E. (2013). Temporal and spatial analyses of temperature in a French wine-producing area: The Loire Valley. *International Journal of Climatology*, 33(8), 1849–1862. <https://doi.org/10.1002/joc.3552>
- Bucur, G. M., & Dejeu, L. (2016). *CLIMATE CHANGE TRENDS IN SOME ROMANIAN VITIVINICULTURAL CENTERS*. 5(2).
- Cardoso, A. S., Alonso, J., Rodrigues, A. S., Araújo-Paredes, C., Mendes, S., & Valín, M. I. (2019). Agro-ecological terroir units in the North West Iberian Peninsula wine regions. *Applied Geography*, 107(May), 51–62. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2019.03.011>
- Castro, A. (2013). Aplicação de cinco índices bioclimáticos a algumas castas da Região de Vinho do Porto- Estudo de caso em nove estações climatológicas. *Faculdade de Letras Da Universidade Do Porto*.
- Coelho, J. C., Lopes, C. M., Braga, R., Pinto, P. A., & Egipto, R. J. L. (2013). Avaliação do impacte das alterações climáticas na sustentabilidade económica da cultura da vinha no Alentejo. *VII APDEA Congress - ESADR 2013, Évora, P15*(October 2013), 4015–4039.
- Comte, V., Schneider, L., Calanca, P., Zufferey, V., & Rebetez, M. (2023). Future climatic conditions may threaten adaptation capacities for vineyards along Lake Neuchâtel, Switzerland. *Oeno One*, 57(2), 85–100. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2023.57.2.7194>

- Comunidade Intermunicipal do Alto Minho. (2019). *ALTO MiNHO adaPT Plano Intermunicipal de Adaptação às Alterações Climáticas do Alto Minho*.
- Costa, J. M., Vaz, M., Escalona, J., Egipto, R., Lopes, C., Medrano, H., & Chaves, M. M. (2016). Modern viticulture in southern Europe: Vulnerabilities and strategies for adaptation to water scarcity. *Agricultural Water Management*, 164, 5–18. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.08.021>
- Costantini, E., & Bucelli, P. (2014). *Soil and Terroir* (Vol. 8, pp. 97–133). https://doi.org/10.1007/978-3-319-00699-4_6
- De Cortázar-Atauri, I. G., Duchêne, É., Destrac-Irvine, A., Barbeau, G., De Rességuier, L., Lacombe, T., Parker, A. K., Saurin, N., Van Leeuwen, C., & Ollat, N. (2017). Grapevine phenology in France: From past observations to future evolutions in the context of climate change. *Journal International Des Sciences de La Vigne et Du Vin*, 51(2), 115–126. <https://doi.org/10.20870/oenone.2016.0.0.1622>
- De Teixeira, A. H. C., Tonietto, J., Pereira, G. E., Hernandez, F. B. T., Angelotti, F., & Lopes, H. L. (2014). Agro-climatic suitability delimitation for table and wine grape crops under irrigation conditions in northeastern Brazil. *Acta Horticulturae*, 1038(July), 277–286.
- Egipto, R. (2013). SIAMVITI – Vitivinicultura portuguesa num cenário de alterações climáticas: Impactos e medidas de adaptação. *Enovitis*, December.
- European Conservation Agriculture Federation. (2014). *Conservation Agriculture: Making Climate Change Mitigation and Adaptation Real in Europe*.
- Fonseca, A., Cruz, J., Fraga, H., Andrade, C., Valente, J., Alves, F., Neto, C., Flores, R., & Santos, J. A. (2025). Enhancing climate change impact assessment in viticulture by resolving microclimates. *European Journal of Agronomy*, 170, 127740. <https://doi.org/10.1016/J.EJA.2025.127740>
- Fonseca, A., Fraga, H., & Santos, J. A. (2023). Exposure of Portuguese viticulture to weather extremes under climate change. *Climate Services*, 30, 100357. <https://doi.org/10.1016/J.CLISER.2023.100357>
- Fraga, H. (2014). *Vitivinicultural zoning in Europe: Climate scenarios and adaptation measures*.

- Fraga, H., Amraoui, M., & Malheiro, A. C. (2015). *Examining the relationship between the Enhanced Vegetation Index and grapevine phenology*. December 2014. <https://doi.org/10.5721/EuJRS20144743>
- Fraga, H., Atauri, I. G. de C., Malheiro, A. C., Moutinho-Pereira, J., & Santos, J. A. (2017). Viticulture in Portugal: A review of recent trends and climate change projections. *OENO One*, 51(2), 61–69. <https://doi.org/10.20870/OENO-ONE.2017.51.2.1621>
- Fraga, H., Costa, R., & Santos, J. A. (2018). Multivariate clustering of vitivinicultural terroirs in the Douro winemaking region. *Ciência e Técnica Vitivinícola*, 32(2), 142–153. <https://doi.org/10.1051/ctv/20173202142>
- Fraga, H., Freitas, T. R., Fonseca, A., Fernandes, A., & Santos, J. A. (2024). Climate change implications on the viticulture geography. *Advances in Botanical Research*, 110, 27–69. <https://doi.org/10.1016/BS.ABR.2024.04.001>
- Fraga, H., Malheiro, A. C., Moutinho-Pereira, J., Cardoso, R. M., Soares, P. M. M., Cancela, J. J., Pinto, J. G., & Santos, J. A. (2014). Integrated analysis of climate, soil, topography and vegetative growth in iberian vitivinicultural regions. *PLoS ONE*, 9(9). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0108078>
- Fraga, H., Malheiro, A. C., Moutinho-Pereira, J., Jones, G. V., Alves, F., Pinto, J. G., & Santos, J. A. (2014a). Very high resolution bioclimatic zoning of Portuguese wine regions: Present and future scenarios. *Regional Environmental Change*, 14(1), 295–306. <https://doi.org/10.1007/s10113-013-0490-y>
- Fraga, H., Malheiro, A. C., Moutinho-Pereira, J., Jones, G. V., Alves, F., Pinto, J. G., & Santos, J. A. (2014b). Very high resolution bioclimatic zoning of Portuguese wine regions: Present and future scenarios. *Regional Environmental Change*, 14(1), 295–306. <https://doi.org/10.1007/s10113-013-0490-y>
- Fraga, H., Malheiro, A. C., Moutinho-Pereira, J., Jones, G. V., Alves, F., Pinto, J. G., & Santos, J. A. (2014c). Very high resolution bioclimatic zoning of Portuguese wine regions: Present and future scenarios. *Regional Environmental Change*, 14(1), 295–306. <https://doi.org/10.1007/s10113-013-0490-y>

- Fraga, H., Malheiro, A. C., Moutinho-Pereira, J., & Santos, J. A. (2014). Climate factors driving wine production in the Portuguese Minho region. *Agricultural and Forest Meteorology*, 185, 26–36. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2013.11.003>
- Fraga, H., & Santos, J. A. (2018). Vineyard mulching as a climate change adaptation measure: Future simulations for Alentejo, Portugal. *Agricultural Systems*, 164(April), 107–115. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.04.006>
- Fraga, H., Santos, J. A., Malheiro, A. C., & Moutinho-Pereira, J. (2012a). Climate Change Projections for the Portuguese Viticulture Using a Multi-Model Ensemble Projeção Das Alterações Climáticas Para a Vitivinicultura Portuguesa Utilizando Um Conjunto De Modelos. *Ciência Téc. Vitiv*, 27(1), 39–48.
- Fraga, H., Santos, J. A., Malheiro, A. C., & Moutinho-Pereira, J. (2012b). Climate Change Projections for the Portuguese Viticulture Using a Multi-Model Ensemble Projeção Das Alterações Climáticas Para a Vitivinicultura Portuguesa Utilizando Um Conjunto De Modelos. *Ciência Téc. Vitiv*, 27(1), 39–48.
- Fuentes-Espinosa, J. M., Muñoz-Castells, R., Moreno-García, J., García-Martínez, T., Mauricio, J. C., & Moreno, J. (2025). Analytical Differentiation of Wines from Three Terroirs Located in a Warm Winegrowing Area Based on Their Volatilome. *Molecules*, 30(2). <https://doi.org/10.3390/molecules30020238>
- Funes Mesa, I., Sánchez-Costa, E., Aranda, X., Altava-Ortiz, V., Barrera-Escoda, A., Prohom, M., Poyatos, R., Sánchez-Ortiz, A., Savé, R., & De Herralde, F. (2024). Modelling future climate change impacts on grapevine water requirements and growing cycle in three wine PDOs of NE Spain. *OENO One*, 58(4). <https://doi.org/10.20870/oenone.2024.58.4.7789>
- Gannon, K. E., Conway, D., Hardman, M., Nesbitt, A., Dorling, S., & Borchert, J. (2023). Adaptation to climate change in the UK wine sector. *Climate Risk Management*, 42. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2023.100572>
- Gladstones, J. S. (2011). *Wine, terroir and climate change / John Gladstones*.
- Hall, A., & Jones, G. V. (2008). *Effect of potential atmospheric warming on temperature-based indices describing Australian winegrape growing conditions*. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2008.00035.x>

- Hogland, J., Billor, N., & Anderson, N. (2013). Comparison of standard maximum likelihood classification and polytomous logistic regression used in remote sensing. *European Journal of Remote Sensing*, 46(1), 623–640. <https://doi.org/10.5721/EUJRS20134637>
- Honorio, F., García-Martín, A., Moral, F. J., Paniagua, L. L., & Rebollo, F. J. (2018). Spanish vineyard classification according to bioclimatic indexes. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 24(3), 335–344. <https://doi.org/10.1111/ajgw.12342>
- Irimia, L. M., Patriche, C. V., Petitjean, T., Tissot, C., Santesteban, L. G., Neethling, E., Foss, C., Le Roux, R., & Quénol, H. (2024). Structural and Spatial Shifts in the Viticulture Potential of Main European Wine Regions as an Effect of Climate Change. *Horticulturae* 2024, Vol. 10, Page 413, 10(4), 413. <https://doi.org/10.3390/HORTICULTURAE10040413>
- Irimia, L. M., Patriche, C. V., Petitjean, T., Tissot, C., Santesteban, L. G., Neethling, E., Foss, C., Le Roux, R., Quénol, H., Morales, F., & Mihai Irimia, L. (2024). *Structural and Spatial Shifts in the Viticulture Potential of Main European Wine Regions as an Effect of Climate Change*. 10, 413. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10040413>
- Irimia, L. M., Patriche, C. V., & Quenol, H. (2014). Analysis of vitivinicultural potential and delineation of homogeneous vitivinicultural zones in a temperate climate region of Romania. *Journal International Des Sciences de La Vigne et Du Vin*, 48(3), 145–167.
- IVV. (2016). A Vinha e o Vinho em Portugal. IVV - Instituto Da Vinha e Do Vinho, I.P., July. <http://www.ivv.min-agricultura.pt/np4/91.html>
- Jones, G. (2013). *Uma Avaliação do Clima para a Região Demarcada do Douro : Uma análise das condições climáticas do passado , presente e futuro para a produção de vinho*. <http://www.advid.pt/imagens/outros/13790697133655.pdf>
- Jones, G. V. (2007). *Réchauffement climatique, quels impacts probables sur les vignobles ? Global warming, which potential impacts on the vineyards? Climate Change: Observations, Projections, and General Implications for Viticulture and Wine Production*. 1–15.
- Jones, G. V., & Alves, F. (2012). Spatial Analysis of Climate in Winegrape Growing Regions in Portugal. *Am. J. Enol. Vitic.*, 61(3), 1–4.

- Jones, G. V., Duchêne, E., Tomasi, D., Yuste, J., Braslavska, O., Schultz, H., Martinez, C., Boso, S., Langellier, F., Perruchot, C., & Guimberteau, G. (2005). Changes in European winegrape phenology and relationships with climate. *XIV International GESCO Viticulture Congress*, November 2016, 54–61. <http://www.cabdirect.org/abstracts/20053213736.html>
- Jones, G. V., White, M. A., Cooper, O. R., & Storchmann, K. (2005). Climate change and global wine quality. *Climatic Change*, 73(3), 319–343. <https://doi.org/10.1007/s10584-005-4704-2>
- Keller, M. (2023). Climate Change Impacts on Vineyards in Warm and Dry Areas: Challenges and Opportunities. *American Journal of Enology and Viticulture*, 74(2). <https://doi.org/10.5344/AJEV.2023.23024>
- Kopali, A., Libohova, Z., Teqja, Z., & Owens, P. R. (2021). Bioclimatic suitability for wine vineyards in mediterranean climate - Tirana Region, Albania. *European Journal of Horticultural Science*, 86(2), 179–188. <https://doi.org/10.17660/eJHS.2021/86.2.8>
- Lázaro-López, A., Cámara, J., Martínez, A., Sotés, V., & Gómez-Miguel, V. (2016a). Terroir zoning in appellation Campo de Borja (Northeast Spain). Homogeneous terroir units (HTU) and terroir. *The 11th International Terroir Congress*, July, 9. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.29208.60162>
- Lázaro-López, A., Cámara, J., Martínez, A., Sotés, V., & Gómez-Miguel, V. (2016b). Terroir zoning in appellation Campo de Borja (Northeast Spain). Homogeneous terroir units (HTU) and terroir. *The 11th International Terroir Congress*, July, 9. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.22497.71527>
- Lazoglou, G., Anagnostopoulou, C., & Koundouras, S. (2018). Climate change projections for Greek viticulture as simulated by a regional climate model. *Theoretical and Applied Climatology*, 133(1–2), 551–567. <https://doi.org/10.1007/s00704-017-2198-2>
- Lorenzo, M. N., Ramos, A. M., & Brands, S. (2016a). Present and future climate conditions for winegrowing in Spain. *Regional Environmental Change*, 16(3), 617–627. <https://doi.org/10.1007/s10113-015-0883-1>

- Lorenzo, M. N., Ramos, A. M., & Brands, S. (2016b). Present and future climate conditions for winegrowing in Spain. *Regional Environmental Change*, 16(3), 617–627. <https://doi.org/10.1007/s10113-015-0883-1>
- Lorenzo, M. N., Taboada, J. J., Lorenzo, J. F., & Ramos, A. M. (2013). Influence of climate on grape production and wine quality in the Rías Baixas, north-western Spain. *Regional Environmental Change*, 13(4), 887–896. <https://doi.org/10.1007/s10113-012-0387-1>
- Machado, C. I. da S. (2010). *Vulnerabilidade da Região Demarcada do Douro às alterações climáticas e efeitos sobre o ciclo vegetativo da videira : o caso do Moscatel Galego*. <http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/19773>
- Malheiro, A. C., Santos, J. A., Fraga, H., & Pinto, J. G. (2010). Climate change scenarios applied to vitivinicultural zoning in Europe. *Climate Research*, 43(3), 163–177. <https://doi.org/10.3354/cr00918>
- Mania, E., Gangemi, L., Piazzzi, M., & Guidoni, S. (2018). *Geographical features such as slope and exposure are terroir elements influencing grape quality Geographical features such as slope and exposure are terroir elements influencing grape quality. August*.
- Manuel, C., & Lopes, A. (2005). *VITIVINICULTURA GERAL Programa, conteúdos e métodos de ensino*.
- Marques, C., Dinis, L. T., Modesti, M., Bellincontro, A., Correia, E., & Vilela, A. (2024). Exploring the influence of terroir on douro white and red wines characteristics: a study of human perception and electronic analysis. *European Food Research and Technology*, 250(12), 3011–3027. <https://doi.org/10.1007/s00217-024-04607-8>
- Meier, M., Fuhrer, J., & Holzkämper, A. (2018). Changing risk of spring frost damage in grapevines due to climate change? A case study in the Swiss Rhone Valley. *International Journal of Biometeorology*, 62(6), 991–1002. <https://doi.org/10.1007/s00484-018-1501-y>
- Miccichè, D., Puccio, S., Di Lorenzo, R., Turano, L., Di Carlo, F., & Pisciotta, A. (2025). Adapting Viticulture to Climate Change: Impact of Shading in Sicily. *Horticulturae* 2025, Vol. 11, Page 163, 11(2), 163. <https://doi.org/10.3390/HORTICULTURAE11020163>
- Miguel, N., Góis, S., Mário, O., De, M., Furtado, M., & Cunha, C. (2015). *Modelação fenológica da videira (Vitis vinifera L.). Integração bioclimática, genética e adaptação espaço temporal*.

- Mira de Orduña, R. (2010). Climate change associated effects on grape and wine quality and production. *Food Research International*, 43(7), 1844–1855. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2010.05.001>
- Molitor, D., Faralli, M., Mallucci, S., Bignardi, A., Varner, M., Bertamini, M., & sc, M. (2024). Four decades in the vineyard: the impact of climate change on grapevine phenology and wine quality in northern Italy. *OENO One*, 58(3). <https://doi.org/10.20870/OENO-ONE.2024.58.3.8083>
- Molitor, D., Schultz, M., Mannes, R., Pallez-Barthel, M., Hoffmann, L., & Beyer, M. (2019). Semi-Minimal Pruned Hedge: A Potential Climate Change Adaptation Strategy in Viticulture. *Agronomy*, 9(4), 173. <https://doi.org/10.3390/agronomy9040173>
- Moral, F. J., Rebollo, F. J., Paniagua, L. L., & García-Martín, A. (2016). A GIS-based multivariate clustering for characterization and ecoregion mapping from a vitivinicultural perspective. In *Spanish Journal of Agricultural Research* (Vol. 14, Issue 3, p. e0206). <https://doi.org/10.5424/sjar/2016143-9323>
- Morales-Castilla, I., de Cortázar-Atauri, I. G., Cook, B. I., Lacombe, T., Parker, A., van Leeuwen, C., Nicholas, K. A., & Wolkovich, E. M. (2020). Diversity buffers winegrowing regions from climate change losses. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 117(6), 2864–2869. https://doi.org/10.1073/PNAS.1906731117/SUPPL_FILE/PNAS.1906731117.SAPP.PDF
- Moriondo, M., Jones, G. V., Bois, B., Dibari, C., Ferrise, R., Trombi, G., & Bindi, M. (2013). Projected shifts of wine regions in response to climate change. *Climatic Change*, 119(3–4), 825–839. <https://doi.org/10.1007/s10584-013-0739-y>
- Mouta, N. (2019). *PLANO INTERMUNICIPAL DE ADAPTAÇÃO ÀS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS PARA O ALTO MINHO: CENARIZAÇÃO CLIMÁTICA, AVALIAÇÃO DE IMPACTES E MEDIDAS*.
- Naulleau, A., Gary, C., Prévot, L., & Hossard, L. (2021). Evaluating Strategies for Adaptation to Climate Change in Grapevine Production—A Systematic Review. In *Frontiers in Plant Science* (Vol. 11). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.607859>

- Naulleau, A., Gary, C., Prévot, L., Vinatier, F., & Hossard, L. (2022). How can winegrowers adapt to climate change? A participatory modeling approach in southern France. *Agricultural Systems*, 203. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2022.103514>
- Neethling, E., Barbeau, G., Coulon-Leroy, C., & Quénol, H. (2019). Spatial complexity and temporal dynamics in viticulture: A review of climate-driven scales. *Agricultural and Forest Meteorology*, 276–277, 107618. <https://doi.org/10.1016/J.AGRFORMET.2019.107618>
- Neethling, E., Barbeau, G., Tissot, C., Rouan, M., Le Coq, C., Le Roux, R., & Hervé, Q. (2016). Adapting viticulture to climate change. *Guidance Manual to Support Winegrower's Decision-Making*, 40. <http://www.adviclim.eu/wp-content/uploads/2015/06/B1-deliverable.pdf>
- Nuno Magalhães. (2008). *Tratado de Vitivinicultura – A Videira, A Vinha e o “Terroir.”* <https://pt.scribd.com/document/673512059/Tratado-de-Vitivinicultura-Prof-Nuno-Magalhaes>
- Ollat, N., Diakou-Verdin, P., Carde, J. P., Barrieu, F., Gaudillère, J. P., & Moing, A. (2002). Grape berry development: A review. *OENO One*, 36(3), 109–131. <https://doi.org/10.20870/OENO-ONE.2002.36.3.970>
- Petrișor, A.-I., Ianoș, I., Iurea, D., & Văidianu, M.-N. (2012). Applications of Principal Component Analysis Integrated with GIS. *Procedia Environmental Sciences*, 14, 247–256. <https://doi.org/10.1016/J.PROENV.2012.03.024>
- Piña-Rey, A., González-Fernández, E., Fernández-González, M., Lorenzo, M. N., & Rodríguez-Rajo, F. J. (2020a). Climate change impacts assessment on wine-growing bioclimatic transition areas. *Agriculture (Switzerland)*, 10(12), 1–21. <https://doi.org/10.3390/agriculture10120605>
- Piña-Rey, A., González-Fernández, E., Fernández-González, M., Lorenzo, M. N., & Rodríguez-Rajo, F. J. (2020b). Climate change impacts assessment on wine-growing bioclimatic transition areas. *Agriculture (Switzerland)*, 10(12), 1–21. <https://doi.org/10.3390/agriculture10120605>

- Pinto, P., Egipto, R., Lopes, C., Braga, R., Pedroso, V., & Neto, M. (2013). *Relações entre índices bioclimáticos e composição da uva à vindima: comparação entre índices clássicos e novos índices*.
- Quénol, H., De Cortazar Atauri, I. G., Bois, B., Sturman, A., Bonnardot, V., Le Roux, R., & Ollat, N. (2017). Which climatic modeling to assess climate change impacts on vineyards? *Journal International Des Sciences de La Vigne et Du Vin*, 51(2), 91–97. <https://doi.org/10.20870/oenone.2016.0.0.1869>
- Resco, P., Iglesias, A., Bardají, I., & Sotés, V. (2016). Exploring adaptation choices for grapevine regions in Spain. *Regional Environmental Change*, 16(4), 979–993. <https://doi.org/10.1007/s10113-015-0811-4>
- Sanderson, M. G., Teixeira, M., Fontes, N., Silva, S., & Graça, A. (2023). The probability of unprecedented high rainfall in wine regions of northern Portugal. *Climate Services*, 30, 100363. <https://doi.org/10.1016/J.CLISER.2023.100363>
- Santos, J. A., Malheiro, A. C., Pinto, J. G., & Jones, G. V. (2012). Macroclimate and vitivinicultural zoning in Europe: Observed trends and atmospheric forcing. *Climate Research*, 51(1), 89–103. <https://doi.org/10.3354/cr01056>
- Santos, J., & Fraga, H. (2017). *Será a vitivinicultura vulnerável às alterações climáticas ?*
- Shaw, T. B. (2017). Climate change and the evolution of the Ontario cool climate wine regions in Canada. *Journal of Wine Research*, 28(1), 13–45. <https://doi.org/10.1080/09571264.2016.1238349>
- Stock, M., Gerstengarbe, F. W., Kartschall, T., & Werner, P. C. (2005a). Reliability of climate change impact assessments for viticulture. In *Acta Horticulturae* (Vol. 689, pp. 29–39).
- Stock, M., Gerstengarbe, F. W., Kartschall, T., & Werner, P. C. (2005b). Reliability of climate change impact assessments for viticulture. *Acta Horticulturae*, 689, 29–39. <https://doi.org/10.17660/ACTAHORTIC.2005.689.1>
- Teslić, N., Zinzani, G., Parpinello, G. P., & Versari, A. (2018). Climate change trends, grape production, and potential alcohol concentration in wine from the “Romagna Sangiovese” appellation area (Italy). *Theoretical and Applied Climatology*, 131(1–2), 793–803. <https://doi.org/10.1007/s00704-016-2005-5>

- Tonietto, J., & Carbonneau, A. (2004). A multicriteria climatic classification system for grape-growing regions worldwide. *Agricultural and Forest Meteorology*, 124(1–2), 81–97. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2003.06.001>
- Tscholl, S., Candiago, S., Marsoner, T., Fraga, H., Giupponi, C., & Egarter Vigl, L. (2024). Climate resilience of European wine regions. *Nature Communications* 2024 15:1, 15(1), 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-50549-w>
- Tscholl, S., & Egarter Vigl, L. (2024). The changing geography of wine climates and its implications on adaptation in the Italian Alps. *Climate Resilience and Sustainability*, 3(4). <https://doi.org/10.1002/cli2.70000>
- Valín, I., Rodrigues, C., Alonso, J., Mendes, S., & Vale, A. P. (2017). *A importância do sector vitivinícola na Região dos Vinhos Verdes*.
- Van Leeuwen, C. (2010). Terroir: The effect of the physical environment on vine growth, grape ripening and wine sensory attributes. In *Managing Wine Quality: Viticulture and Wine Quality* (pp. 273–315). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1533/9781845699284.3.273>
- van Leeuwen, C., & Bois, B. (2018). Update in unified terroir zoning methodologies. *E3S Web of Conferences*, 50, 01044. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20185001044>
- van Leeuwen, C., & Darriet, P. (2016a). The Impact of Climate Change on Viticulture and Wine Quality. *Journal of Wine Economics*, 11(1), 150–167. <https://doi.org/10.1017/jwe.2015.21>
- van Leeuwen, C., & Darriet, P. (2016b). The Impact of Climate Change on Viticulture and Wine Quality. *Journal of Wine Economics*, 11(01), 150–167. <https://doi.org/10.1017/jwe.2015.21>
- van Leeuwen, C., & Darriet, P. (2016c). The Impact of Climate Change on Viticulture and Wine Quality. *Journal of Wine Economics*, 11(1), 150–167. <https://doi.org/10.1017/jwe.2015.21>
- Van Leeuwen, C., & Seguin, G. (2006). The concept of terroir in viticulture. *Journal of Wine Research*, 17(1), 1–10. <https://doi.org/10.1080/09571260600633135>
- Vaudour, E., Leeuwen, C. Van, & Agro, B. S. (2016). *Chapitre 5 Terroirs viticoles et sols*. September.

- Wang, O., Wang, Y., Yang, X., Morán-Alonso, N., Viedma-Guiard, A., Simón-Royo, M., & Córdoba-Hernández, R. (2025). Agricultural Land Suitability Analysis for Land Use Planning: The Case of the Madrid Region. *Land* 2025, Vol. 14, Page 134, 14(1), 134. <https://doi.org/10.3390/LAND14010134>
- Wang, X., Xie, X., Chen, N., Wang, H., & Li, H. (2018). Study on current status and climatic characteristics of wine regions in China. *Vitis*, 57, 9–16. <https://doi.org/10.5073/vitis.2018.57.9-16>
- Webb, L. B., Whetton, P. H., & Barlow, E. W. R. (2007). Modelled impact of future climate change on the phenology of winegrapes in Australia. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 13(3), 165–175. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2007.tb00247.x>
- Wunderlich, R. F., Lin, Y. P., & Ansari, A. (2023). Regional Climate Change Effects on the Viticulture in Portugal. *Environments* - MDPI, 10(1), 5. <https://doi.org/10.3390/ENVIRONMENTS10010005/S1>
- Yan, H. K., Ma, S. Y., Lu, X., Zhang, C. C., Ma, L., Li, K., Wei, Y. C., Gong, M. S., & Li, S. (2022). Response of Wine Grape Quality to Rainfall, Temperature, and Soil Properties in Hexi Corridor. *HortScience*, 57(12), 1593–1599. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI16845-22>
- Zheng, X. (2025). What makes terroir unique? Wine, body techniques, and agricultural modernisation in the Shangri-La region of China. *Agriculture and Human Values*, 42(2), 787–802. <https://doi.org/10.1007/s10460-024-10626-8>

ANEXOS

ANEXO I – Potencial heliotérmico acumulado

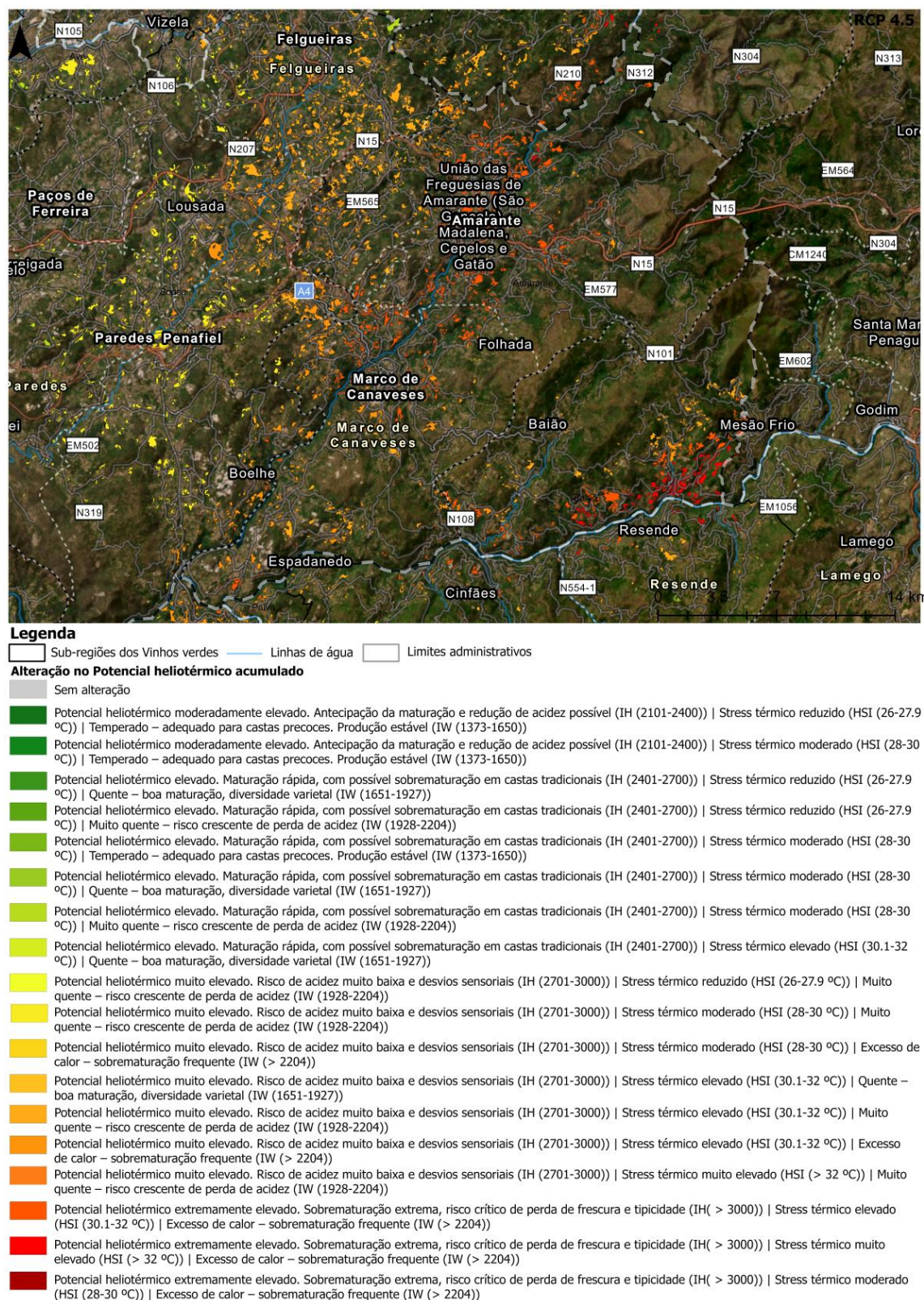


Figura A1.1. Alteração no potencial heliotérmico acumulado para o RCP 4.5 na sub-região de Amarante.

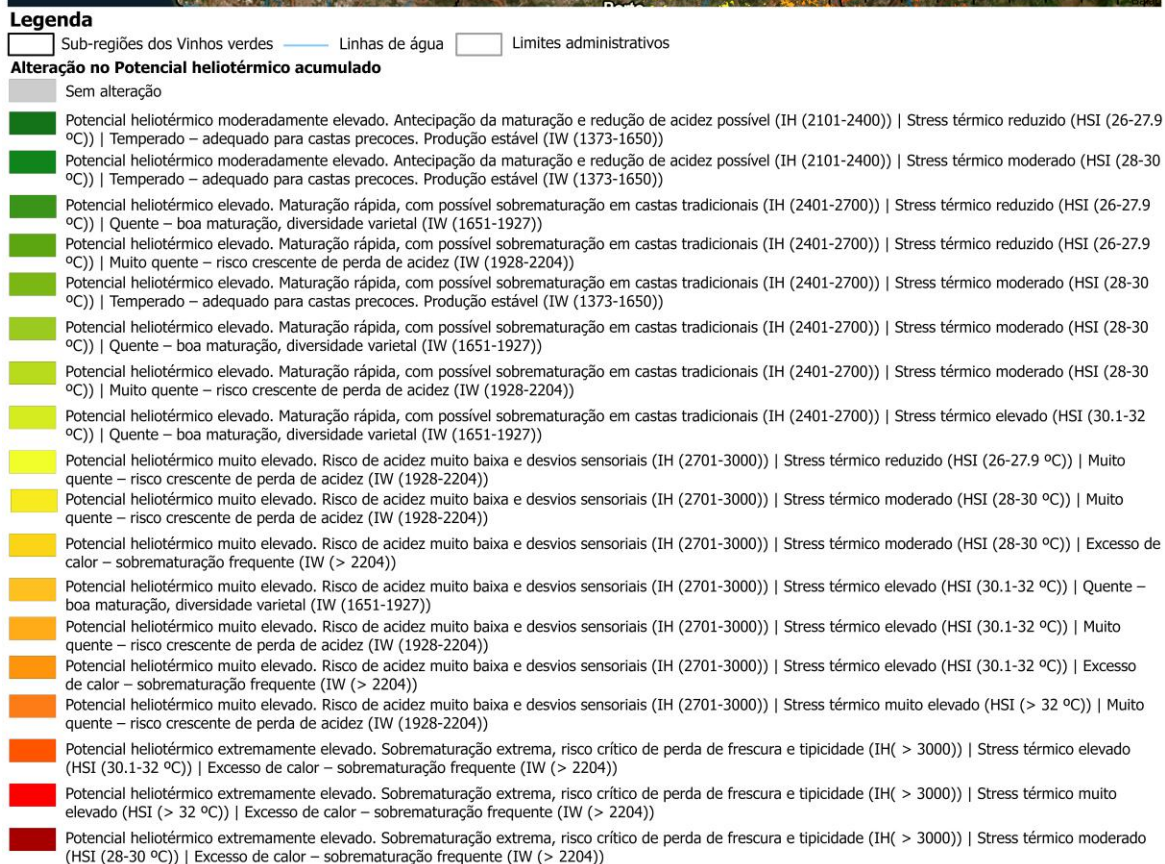
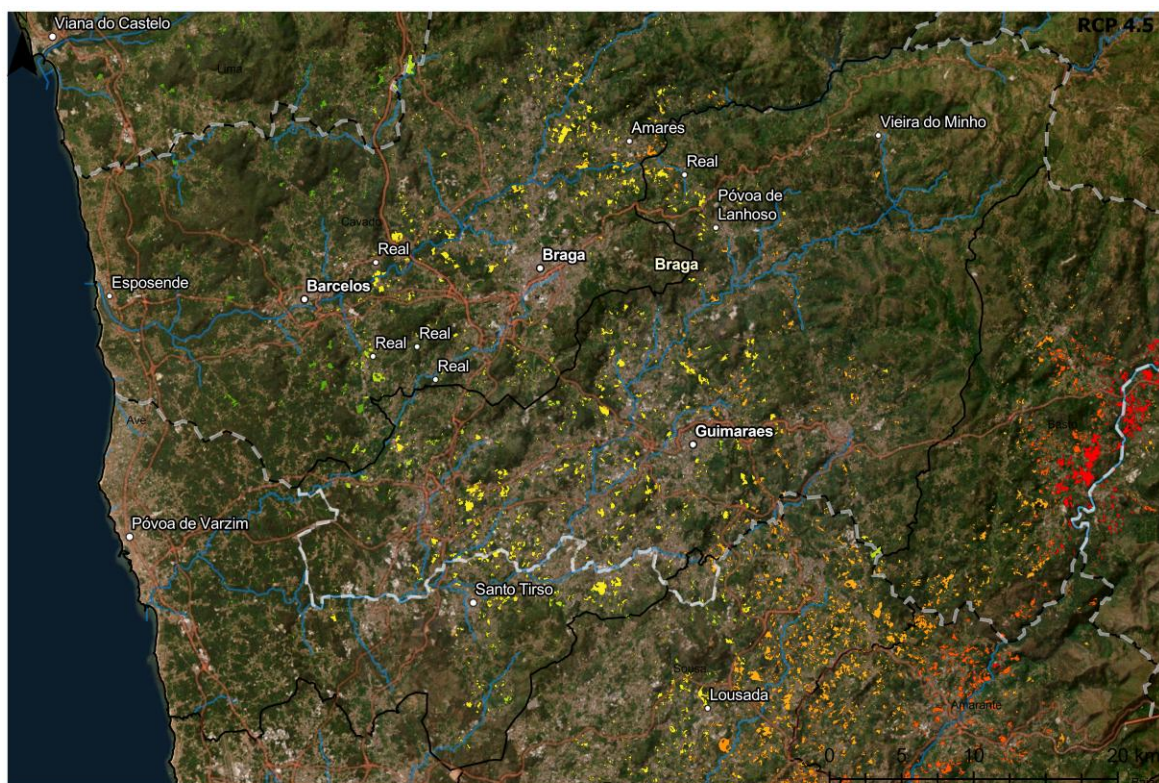
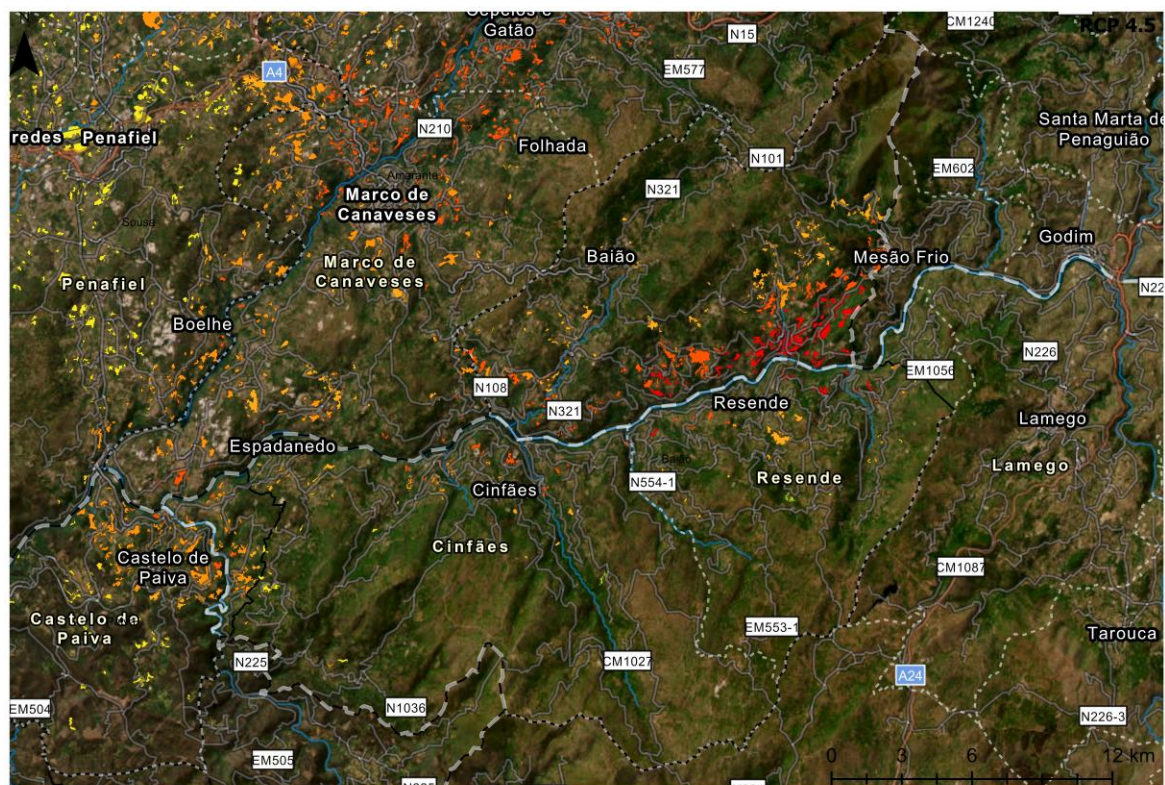


Figura A1.2. Alteração no potencial heliotérmico acumulado para o RCP 4.5 na sub-região do Ave.



Legenda

Sub-regiões dos Vinhos verdes Linhas de água Limites administrativos

Alteração no Potencial heliotérmico acumulado

Sem alteração

- Potencial heliotérmico moderadamente elevado. Antecipação da maturação e redução de acidez possível (IH (2101-2400)) | Stress térmico reduzido (HSI (26-27.9 °C)) | Temperado – adequado para castas precoces. Produção estável (IW (1373-1650))
- Potencial heliotérmico moderadamente elevado. Antecipação da maturação e redução de acidez possível (IH (2101-2400)) | Stress térmico moderado (HSI (28-30 °C)) | Temperado – adequado para castas precoces. Produção estável (IW (1373-1650))
- Potencial heliotérmico elevado. Maturação rápida, com possível sobrematuração em castas tradicionais (IH (2401-2700)) | Stress térmico reduzido (HSI (26-27.9 °C)) | Quente – boa maturação, diversidade varietal (IW (1651-1927))
- Potencial heliotérmico elevado. Maturação rápida, com possível sobrematuração em castas tradicionais (IH (2401-2700)) | Stress térmico reduzido (HSI (26-27.9 °C)) | Muito quente – risco crescente de perda de acidez (IW (1928-2204))
- Potencial heliotérmico elevado. Maturação rápida, com possível sobrematuração em castas tradicionais (IH (2401-2700)) | Stress térmico moderado (HSI (28-30 °C)) | Temperado – adequado para castas precoces. Produção estável (IW (1373-1650))
- Potencial heliotérmico elevado. Maturação rápida, com possível sobrematuração em castas tradicionais (IH (2401-2700)) | Stress térmico moderado (HSI (28-30 °C)) | Quente – boa maturação, diversidade varietal (IW (1651-1927))
- Potencial heliotérmico elevado. Maturação rápida, com possível sobrematuração em castas tradicionais (IH (2401-2700)) | Stress térmico moderado (HSI (28-30 °C)) | Muito quente – risco crescente de perda de acidez (IW (1928-2204))
- Potencial heliotérmico elevado. Maturação rápida, com possível sobrematuração em castas tradicionais (IH (2401-2700)) | Stress térmico elevado (HSI (30.1-32 °C)) | Quente – boa maturação, diversidade varietal (IW (1651-1927))
- Potencial heliotérmico muito elevado. Risco de acidez muito baixa e desvios sensoriais (IH (2701-3000)) | Stress térmico reduzido (HSI (26-27.9 °C)) | Muito quente – risco crescente de perda de acidez (IW (1928-2204))
- Potencial heliotérmico muito elevado. Risco de acidez muito baixa e desvios sensoriais (IH (2701-3000)) | Stress térmico moderado (HSI (28-30 °C)) | Muito quente – risco crescente de perda de acidez (IW (1928-2204))
- Potencial heliotérmico muito elevado. Risco de acidez muito baixa e desvios sensoriais (IH (2701-3000)) | Stress térmico moderado (HSI (28-30 °C)) | Excesso de calor – sobrematuração frequente (IW (> 2204))
- Potencial heliotérmico muito elevado. Risco de acidez muito baixa e desvios sensoriais (IH (2701-3000)) | Stress térmico elevado (HSI (30.1-32 °C)) | Quente – boa maturação, diversidade varietal (IW (1651-1927))
- Potencial heliotérmico muito elevado. Risco de acidez muito baixa e desvios sensoriais (IH (2701-3000)) | Stress térmico elevado (HSI (30.1-32 °C)) | Muito quente – risco crescente de perda de acidez (IW (1928-2204))
- Potencial heliotérmico muito elevado. Risco de acidez muito baixa e desvios sensoriais (IH (2701-3000)) | Stress térmico elevado (HSI (30.1-32 °C)) | Excesso de calor – sobrematuração frequente (IW (> 2204))
- Potencial heliotérmico muito elevado. Risco de acidez muito baixa e desvios sensoriais (IH (2701-3000)) | Stress térmico muito elevado (HSI (> 32 °C)) | Muito quente – risco crescente de perda de acidez (IW (1928-2204))
- Potencial heliotérmico extremamente elevado. Sobrematuração extrema, risco crítico de perda de frescura e tipicidade (IH (> 3000)) | Stress térmico elevado (HSI (30.1-32 °C)) | Excesso de calor – sobrematuração frequente (IW (> 2204))
- Potencial heliotérmico extremamente elevado. Sobrematuração extrema, risco crítico de perda de frescura e tipicidade (IH (> 3000)) | Stress térmico muito elevado (HSI (> 32 °C)) | Excesso de calor – sobrematuração frequente (IW (> 2204))
- Potencial heliotérmico extremamente elevado. Sobrematuração extrema, risco crítico de perda de frescura e tipicidade (IH (> 3000)) | Stress térmico moderado (HSI (28-30 °C)) | Excesso de calor – sobrematuração frequente (IW (> 2204))

Figura A1.3. Alteração no potencial heliotérmico acumulado para o RCP 4.5 na sub-região de Baião.

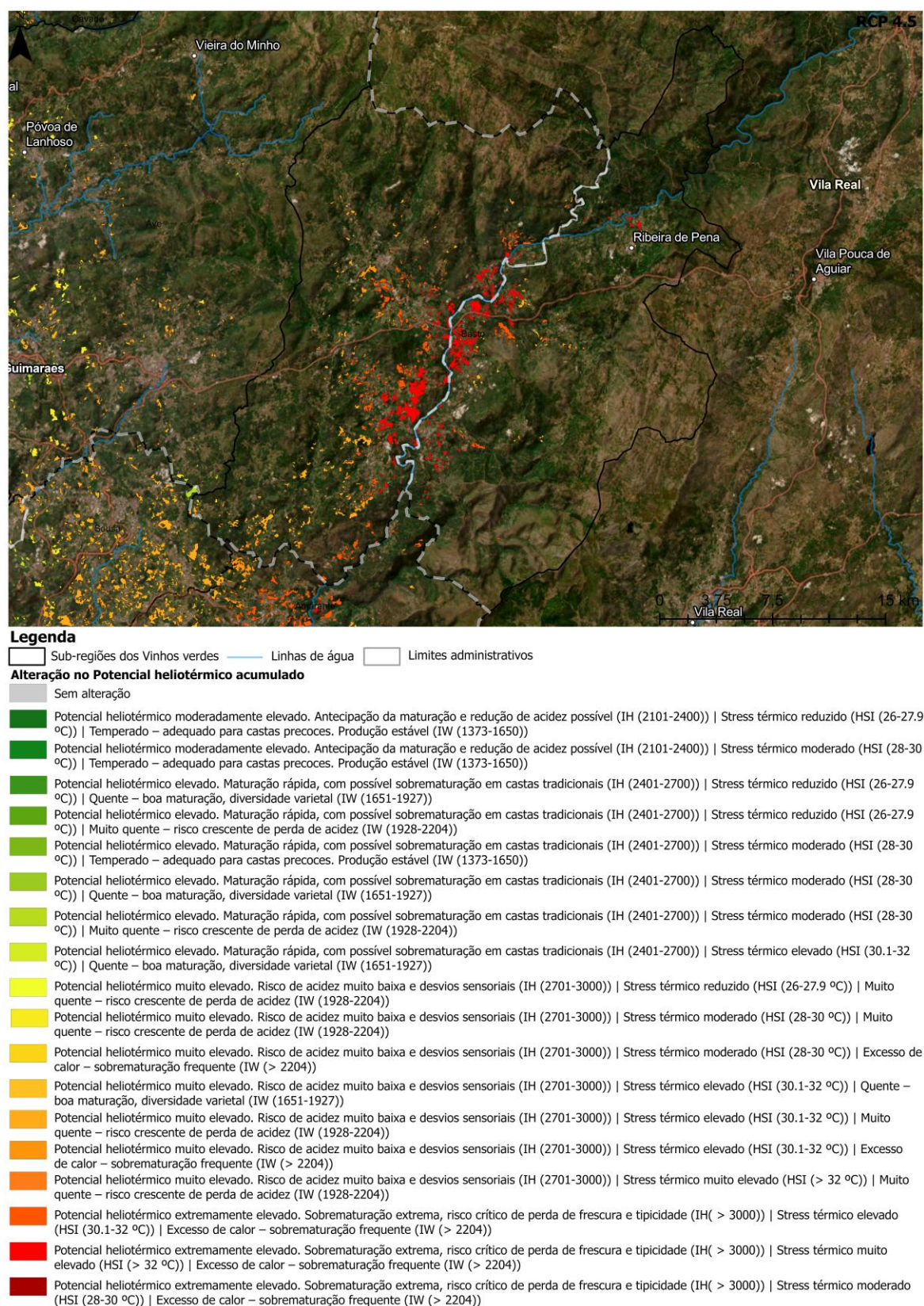


Figura A1.4. Alteração no potencial heliotérmico acumulado para o RCP 4.5 na sub-região de Basto.

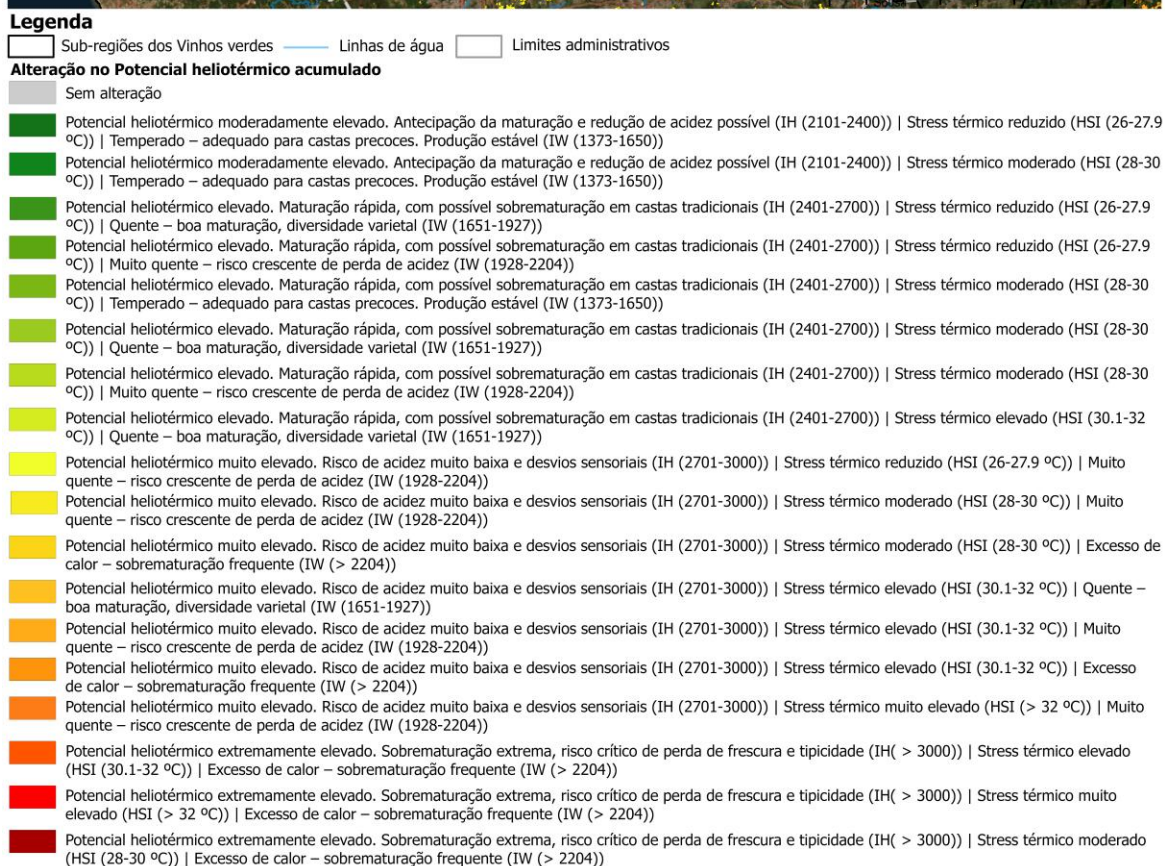
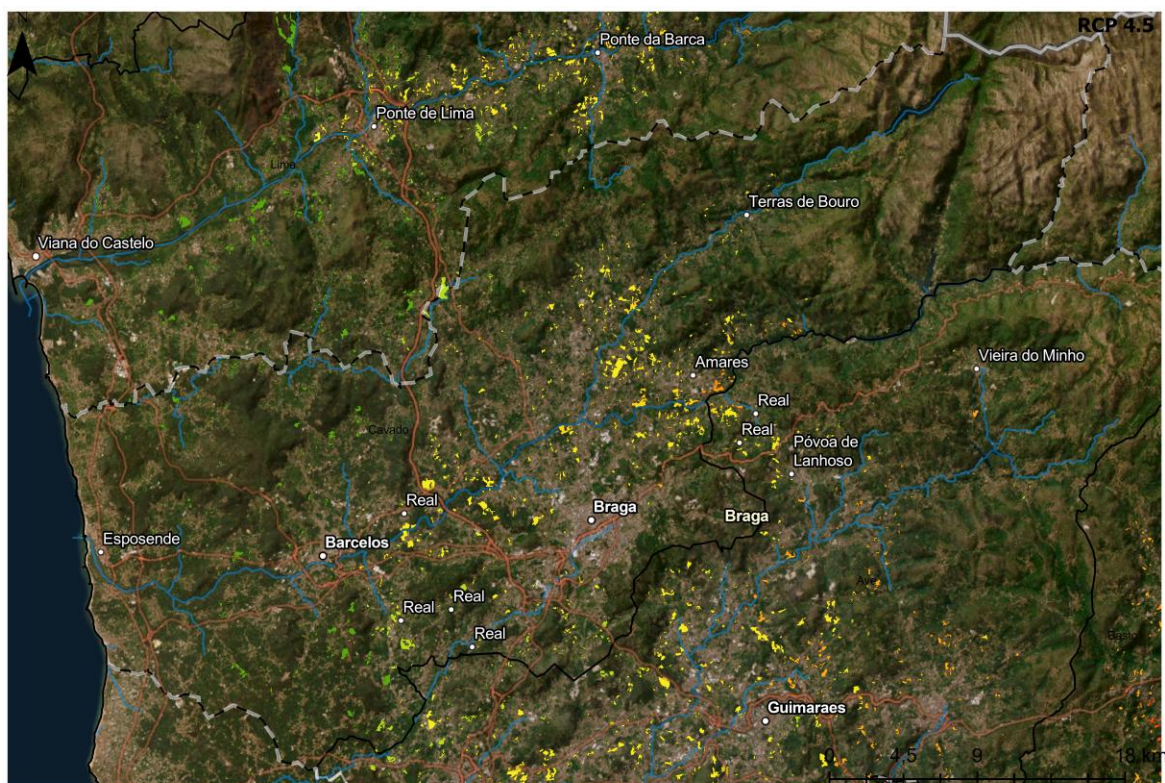


Figura A1.5. Alteração no potencial heliotérmico acumulado para o RCP 4.5 na sub-região do Cávado.

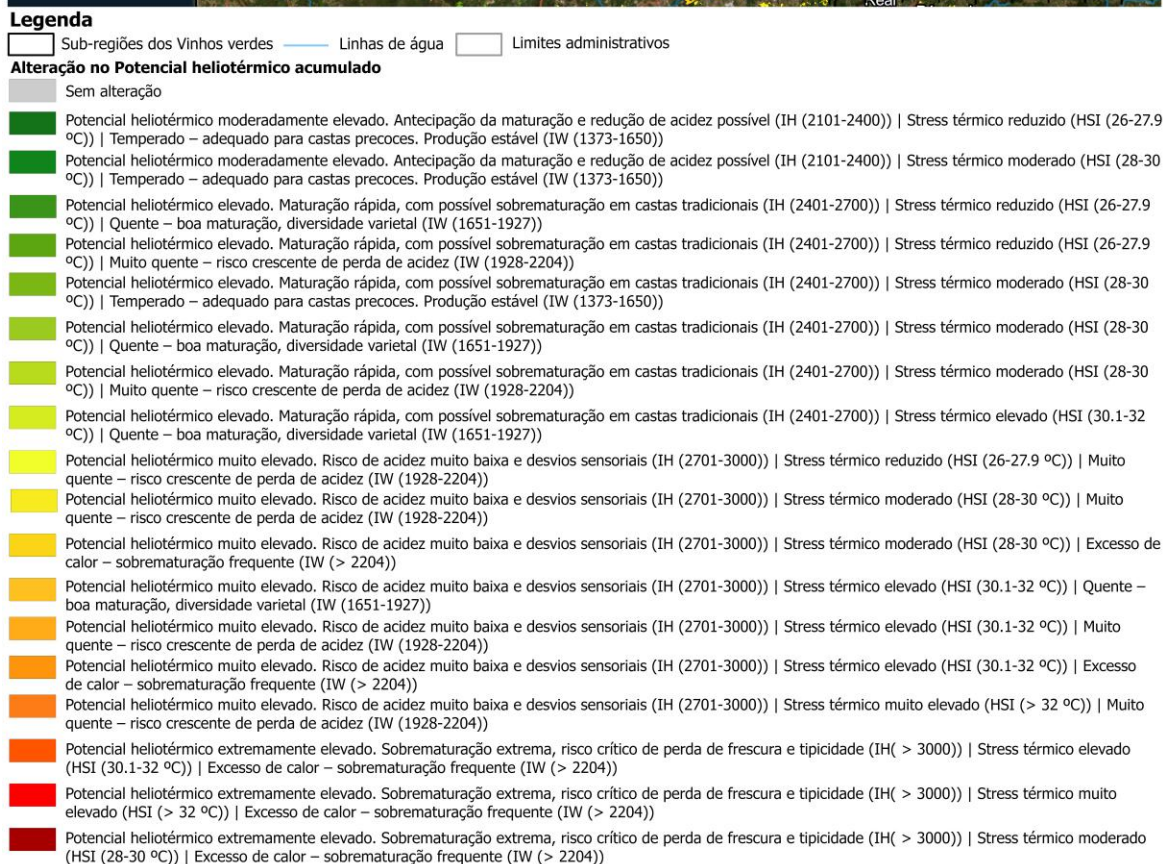
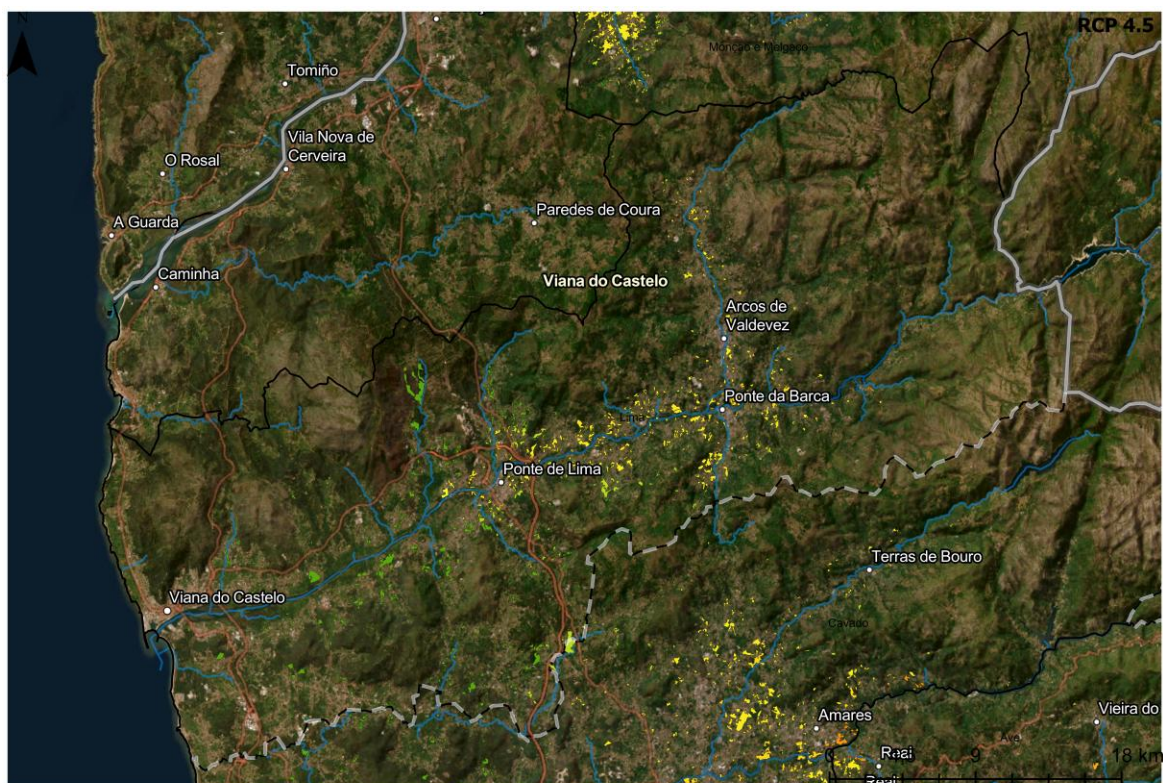


Figura A1.6. Alteração no potencial heliotérmico acumulado para o RCP 4.5 na sub-região do Lima.

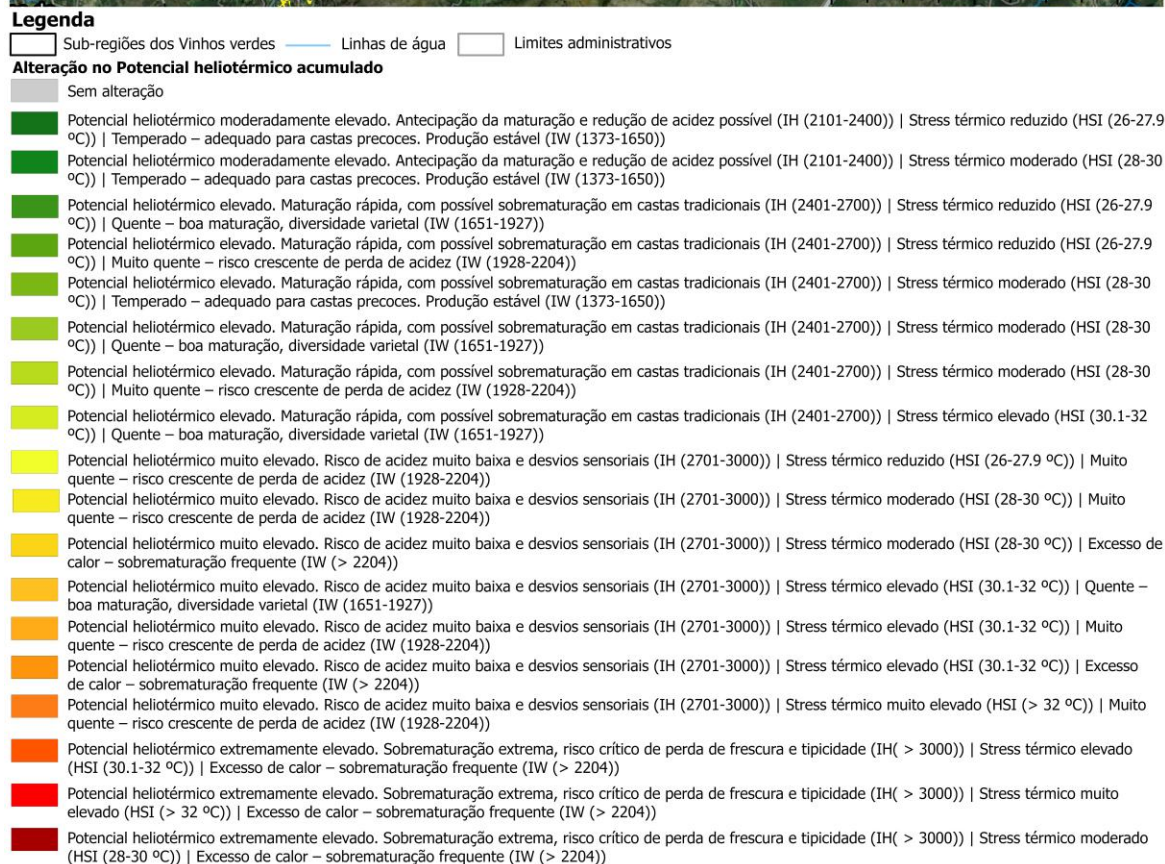
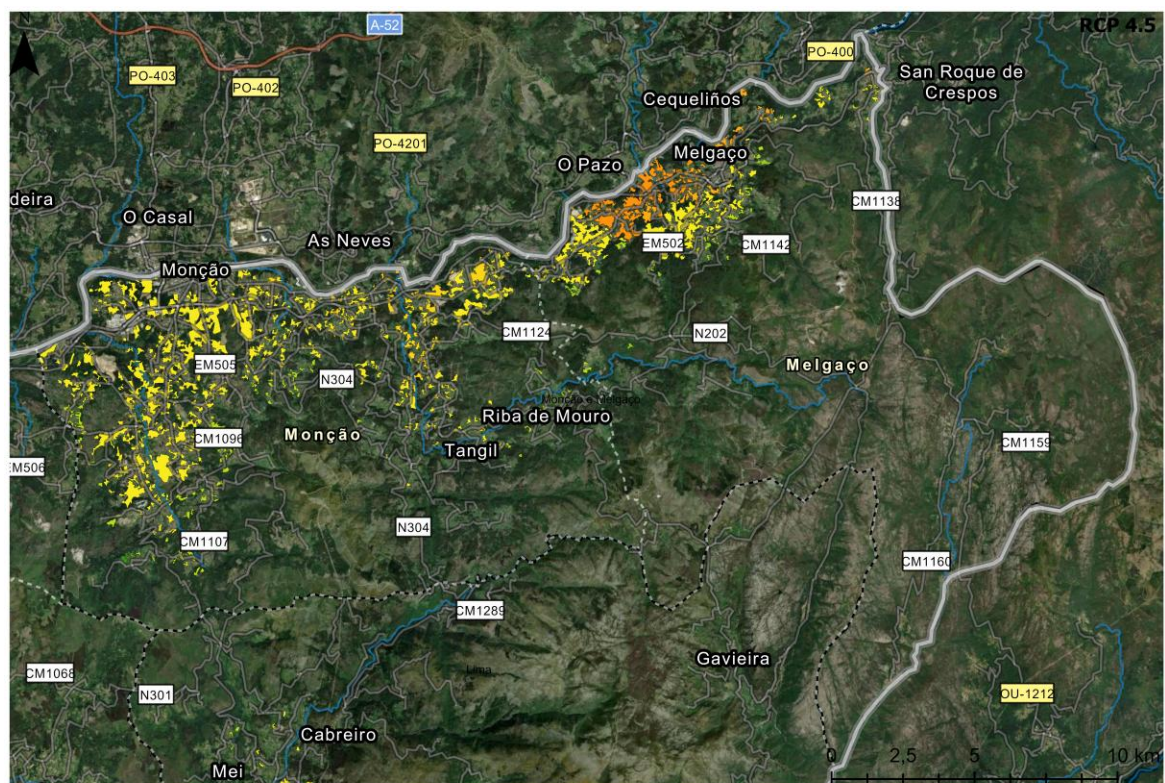
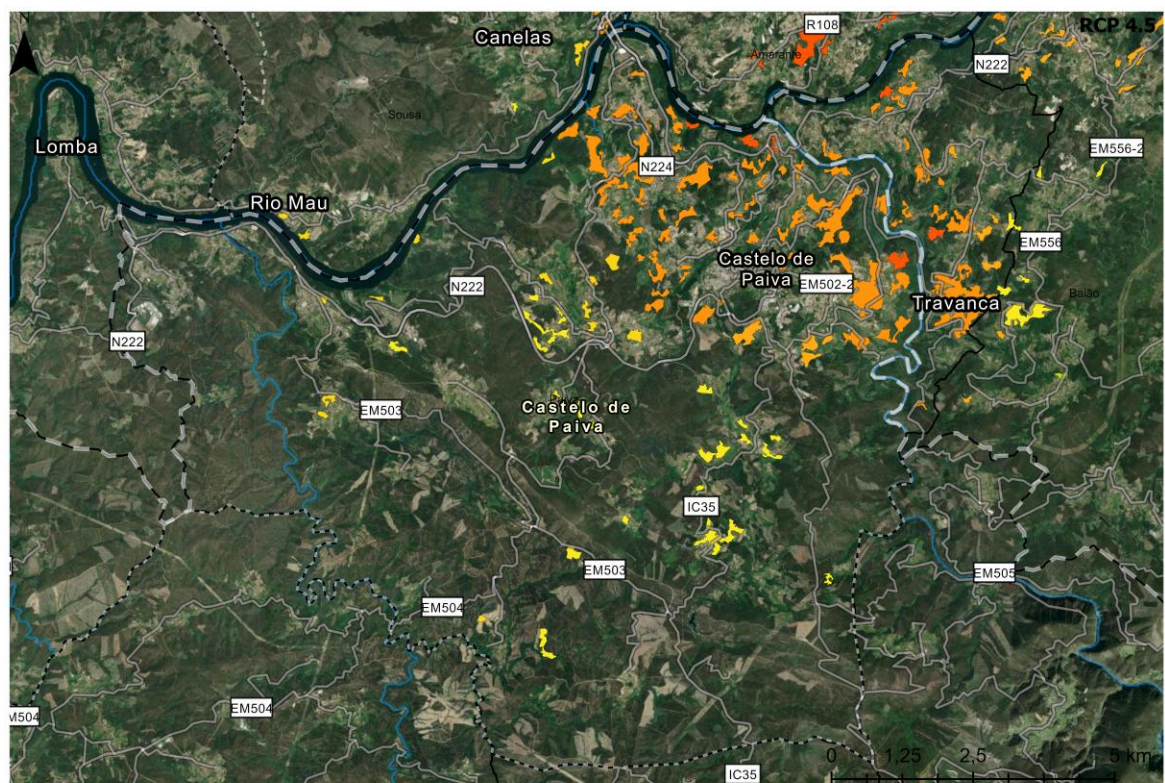


Figura A1.7. Alteração no potencial heliotérmico acumulado para o RCP 4.5 na sub-região de Monção e Melgaço.



Legenda

Sub-regiões dos Vinhos verdes Linhas de água Limites administrativos

Alteração no Potencial heliotérmico acumulado

Sem alteração

- Potencial heliotérmico moderadamente elevado. Antecipação da maturação e redução de acidez possível (IH (2101-2400)) | Stress térmico reduzido (HSI (26-27.9 °C)) | Temperado – adequado para castas precoces. Produção estável (IW (1373-1650))
- Potencial heliotérmico moderadamente elevado. Antecipação da maturação e redução de acidez possível (IH (2101-2400)) | Stress térmico moderado (HSI (28-30 °C)) | Temperado – adequado para castas precoces. Produção estável (IW (1373-1650))
- Potencial heliotérmico elevado. Maturação rápida, com possível sobrematuração em castas tradicionais (IH (2401-2700)) | Stress térmico reduzido (HSI (26-27.9 °C)) | Quente – boa maturação, diversidade varietal (IW (1651-1927))
- Potencial heliotérmico elevado. Maturação rápida, com possível sobrematuração em castas tradicionais (IH (2401-2700)) | Stress térmico reduzido (HSI (26-27.9 °C)) | Muito quente – risco crescente de perda de acidez (IW (1928-2204))
- Potencial heliotérmico elevado. Maturação rápida, com possível sobrematuração em castas tradicionais (IH (2401-2700)) | Stress térmico moderado (HSI (28-30 °C)) | Temperado – adequado para castas precoces. Produção estável (IW (1373-1650))
- Potencial heliotérmico elevado. Maturação rápida, com possível sobrematuração em castas tradicionais (IH (2401-2700)) | Stress térmico moderado (HSI (28-30 °C)) | Quente – boa maturação, diversidade varietal (IW (1651-1927))
- Potencial heliotérmico elevado. Maturação rápida, com possível sobrematuração em castas tradicionais (IH (2401-2700)) | Stress térmico moderado (HSI (28-30 °C)) | Muito quente – risco crescente de perda de acidez (IW (1928-2204))
- Potencial heliotérmico elevado. Maturação rápida, com possível sobrematuração em castas tradicionais (IH (2401-2700)) | Stress térmico elevado (HSI (30.1-32 °C)) | Quente – boa maturação, diversidade varietal (IW (1651-1927))
- Potencial heliotérmico muito elevado. Risco de acidez muito baixa e desvios sensoriais (IH (2701-3000)) | Stress térmico reduzido (HSI (26-27.9 °C)) | Muito quente – risco crescente de perda de acidez (IW (1928-2204))
- Potencial heliotérmico muito elevado. Risco de acidez muito baixa e desvios sensoriais (IH (2701-3000)) | Stress térmico moderado (HSI (28-30 °C)) | Muito quente – risco crescente de perda de acidez (IW (1928-2204))
- Potencial heliotérmico muito elevado. Risco de acidez muito baixa e desvios sensoriais (IH (2701-3000)) | Stress térmico moderado (HSI (28-30 °C)) | Excesso de calor – sobrematuração frequente (IW (> 2204))
- Potencial heliotérmico muito elevado. Risco de acidez muito baixa e desvios sensoriais (IH (2701-3000)) | Stress térmico elevado (HSI (30.1-32 °C)) | Quente – boa maturação, diversidade varietal (IW (1651-1927))
- Potencial heliotérmico muito elevado. Risco de acidez muito baixa e desvios sensoriais (IH (2701-3000)) | Stress térmico elevado (HSI (30.1-32 °C)) | Muito quente – risco crescente de perda de acidez (IW (1928-2204))
- Potencial heliotérmico muito elevado. Risco de acidez muito baixa e desvios sensoriais (IH (2701-3000)) | Stress térmico elevado (HSI (30.1-32 °C)) | Excesso de calor – sobrematuração frequente (IW (> 2204))
- Potencial heliotérmico muito elevado. Risco de acidez muito baixa e desvios sensoriais (IH (2701-3000)) | Stress térmico muito elevado (HSI (> 32 °C)) | Muito quente – risco crescente de perda de acidez (IW (1928-2204))
- Potencial heliotérmico extremamente elevado. Sobrematuração extrema, risco crítico de perda de frescura e tipicidade (IH (> 3000)) | Stress térmico elevado (HSI (30.1-32 °C)) | Excesso de calor – sobrematuração frequente (IW (> 2204))
- Potencial heliotérmico extremamente elevado. Sobrematuração extrema, risco crítico de perda de frescura e tipicidade (IH (> 3000)) | Stress térmico muito elevado (HSI (> 32 °C)) | Excesso de calor – sobrematuração frequente (IW (> 2204))
- Potencial heliotérmico extremamente elevado. Sobrematuração extrema, risco crítico de perda de frescura e tipicidade (IH (> 3000)) | Stress térmico moderado (HSI (28-30 °C)) | Excesso de calor – sobrematuração frequente (IW (> 2204))

Figura A1.8. Alteração no potencial heliotérmico acumulado para o RCP 4.5 na sub-região do Paiva.

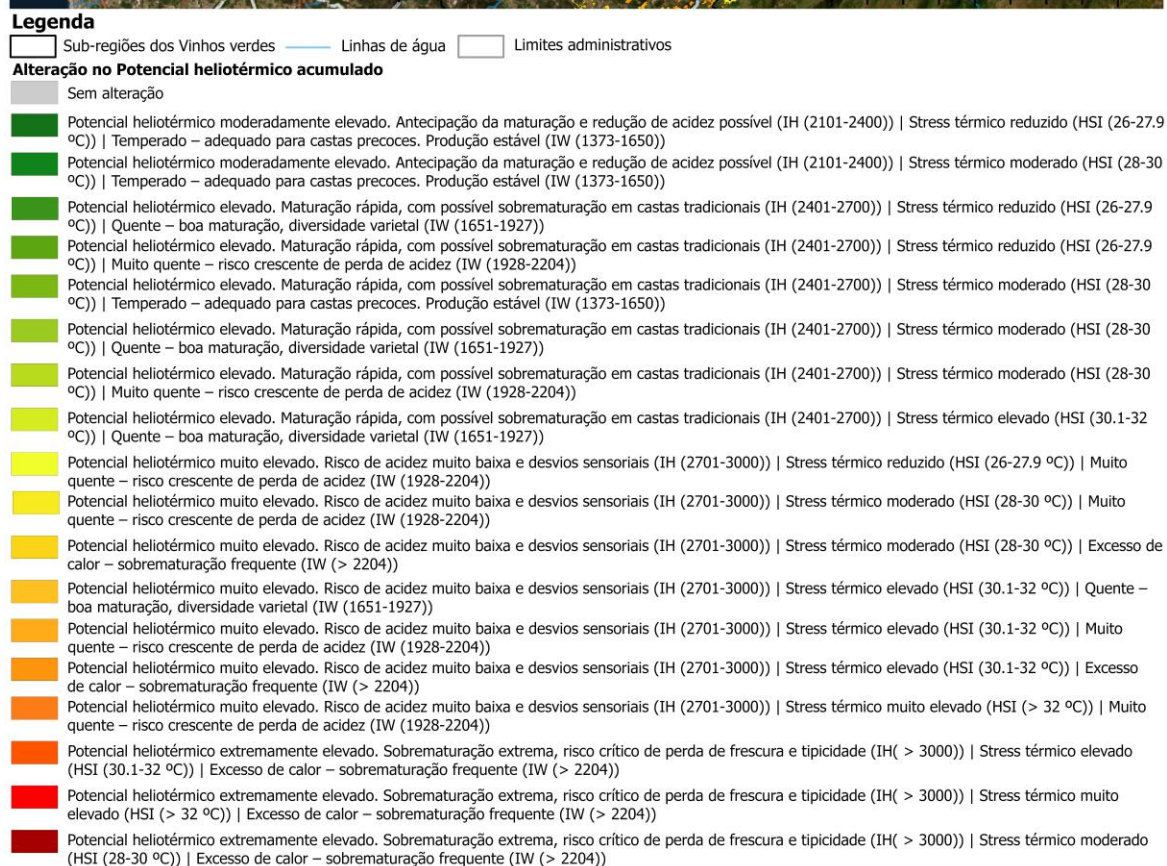
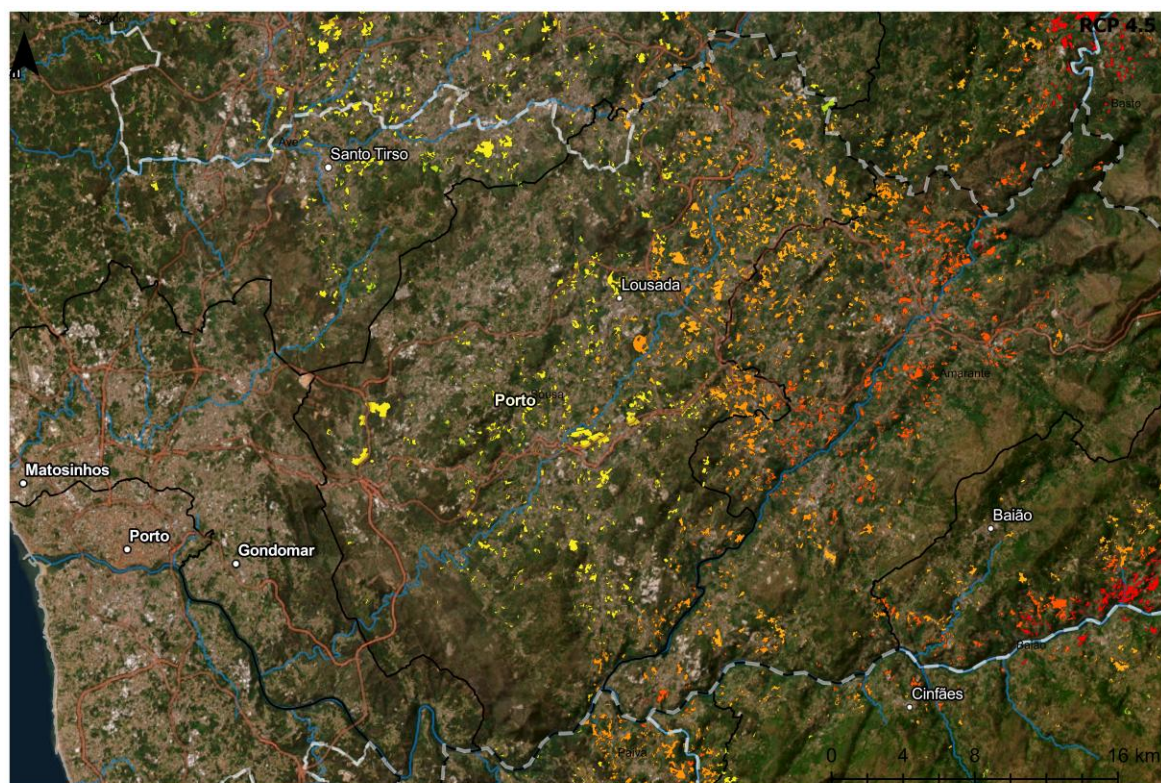
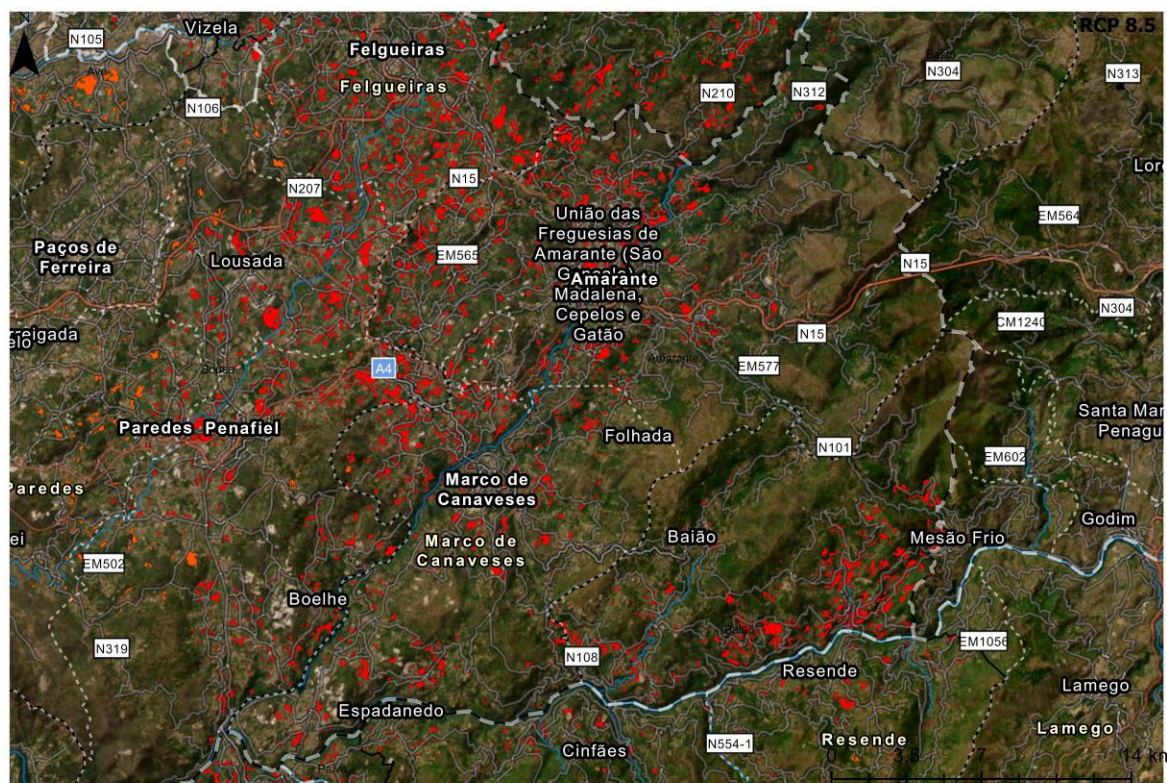


Figura A1.9. Alteração no potencial heliotérmico acumulado para o RCP 4.5 na sub-região do Sousa.



Legenda

Sub-regiões dos Vinhos verdes Linhas de água Limites administrativos

Alteração no Potencial heliotérmico acumulado

Sem alteração

- Potencial heliotérmico moderadamente elevado. Antecipação da maturação e redução de acidez possível (IH (2101-2400)) | Stress térmico reduzido (HSI (26-27.9 °C)) | Temperado – adequado para castas precoces. Produção estável (IW (1373-1650))
- Potencial heliotérmico moderadamente elevado. Antecipação da maturação e redução de acidez possível (IH (2101-2400)) | Stress térmico moderado (HSI (28-30 °C)) | Temperado – adequado para castas precoces. Produção estável (IW (1373-1650))
- Potencial heliotérmico elevado. Maturação rápida, com possível sobrematuração em castas tradicionais (IH (2401-2700)) | Stress térmico reduzido (HSI (26-27.9 °C)) | Quente – boa maturação, diversidade varietal (IW (1651-1927))
- Potencial heliotérmico elevado. Maturação rápida, com possível sobrematuração em castas tradicionais (IH (2401-2700)) | Stress térmico reduzido (HSI (26-27.9 °C)) | Muito quente – risco crescente de perda de acidez (IW (1928-2204))
- Potencial heliotérmico elevado. Maturação rápida, com possível sobrematuração em castas tradicionais (IH (2401-2700)) | Stress térmico moderado (HSI (28-30 °C)) | Temperado – adequado para castas precoces. Produção estável (IW (1373-1650))
- Potencial heliotérmico elevado. Maturação rápida, com possível sobrematuração em castas tradicionais (IH (2401-2700)) | Stress térmico moderado (HSI (28-30 °C)) | Quente – boa maturação, diversidade varietal (IW (1651-1927))
- Potencial heliotérmico elevado. Maturação rápida, com possível sobrematuração em castas tradicionais (IH (2401-2700)) | Stress térmico moderado (HSI (28-30 °C)) | Muito quente – risco crescente de perda de acidez (IW (1928-2204))
- Potencial heliotérmico elevado. Maturação rápida, com possível sobrematuração em castas tradicionais (IH (2401-2700)) | Stress térmico elevado (HSI (30.1-32 °C)) | Quente – boa maturação, diversidade varietal (IW (1651-1927))
- Potencial heliotérmico muito elevado. Risco de acidez muito baixa e desvios sensoriais (IH (2701-3000)) | Stress térmico reduzido (HSI (26-27.9 °C)) | Muito quente – risco crescente de perda de acidez (IW (1928-2204))
- Potencial heliotérmico muito elevado. Risco de acidez muito baixa e desvios sensoriais (IH (2701-3000)) | Stress térmico moderado (HSI (28-30 °C)) | Muito quente – risco crescente de perda de acidez (IW (1928-2204))
- Potencial heliotérmico muito elevado. Risco de acidez muito baixa e desvios sensoriais (IH (2701-3000)) | Stress térmico moderado (HSI (28-30 °C)) | Excesso de calor – sobrematuração frequente (IW (> 2204))
- Potencial heliotérmico muito elevado. Risco de acidez muito baixa e desvios sensoriais (IH (2701-3000)) | Stress térmico elevado (HSI (30.1-32 °C)) | Quente – boa maturação, diversidade varietal (IW (1651-1927))
- Potencial heliotérmico muito elevado. Risco de acidez muito baixa e desvios sensoriais (IH (2701-3000)) | Stress térmico elevado (HSI (30.1-32 °C)) | Muito quente – risco crescente de perda de acidez (IW (1928-2204))
- Potencial heliotérmico muito elevado. Risco de acidez muito baixa e desvios sensoriais (IH (2701-3000)) | Stress térmico elevado (HSI (30.1-32 °C)) | Excesso de calor – sobrematuração frequente (IW (> 2204))
- Potencial heliotérmico muito elevado. Risco de acidez muito baixa e desvios sensoriais (IH (2701-3000)) | Stress térmico muito elevado (HSI (> 32 °C)) | Muito quente – risco crescente de perda de acidez (IW (1928-2204))
- Potencial heliotérmico extremamente elevado. Sobrematuração extrema, risco crítico de perda de frescura e tipicidade (IH (> 3000)) | Stress térmico elevado (HSI (30.1-32 °C)) | Excesso de calor – sobrematuração frequente (IW (> 2204))
- Potencial heliotérmico extremamente elevado. Sobrematuração extrema, risco crítico de perda de frescura e tipicidade (IH (> 3000)) | Stress térmico muito elevado (HSI (> 32 °C)) | Excesso de calor – sobrematuração frequente (IW (> 2204))
- Potencial heliotérmico extremamente elevado. Sobrematuração extrema, risco crítico de perda de frescura e tipicidade (IH (> 3000)) | Stress térmico moderado (HSI (28-30 °C)) | Excesso de calor – sobrematuração frequente (IW (> 2204))

Figura A1.10. Alteração no potencial heliotérmico acumulado para o RCP 8.5 na sub-região de Amarante.

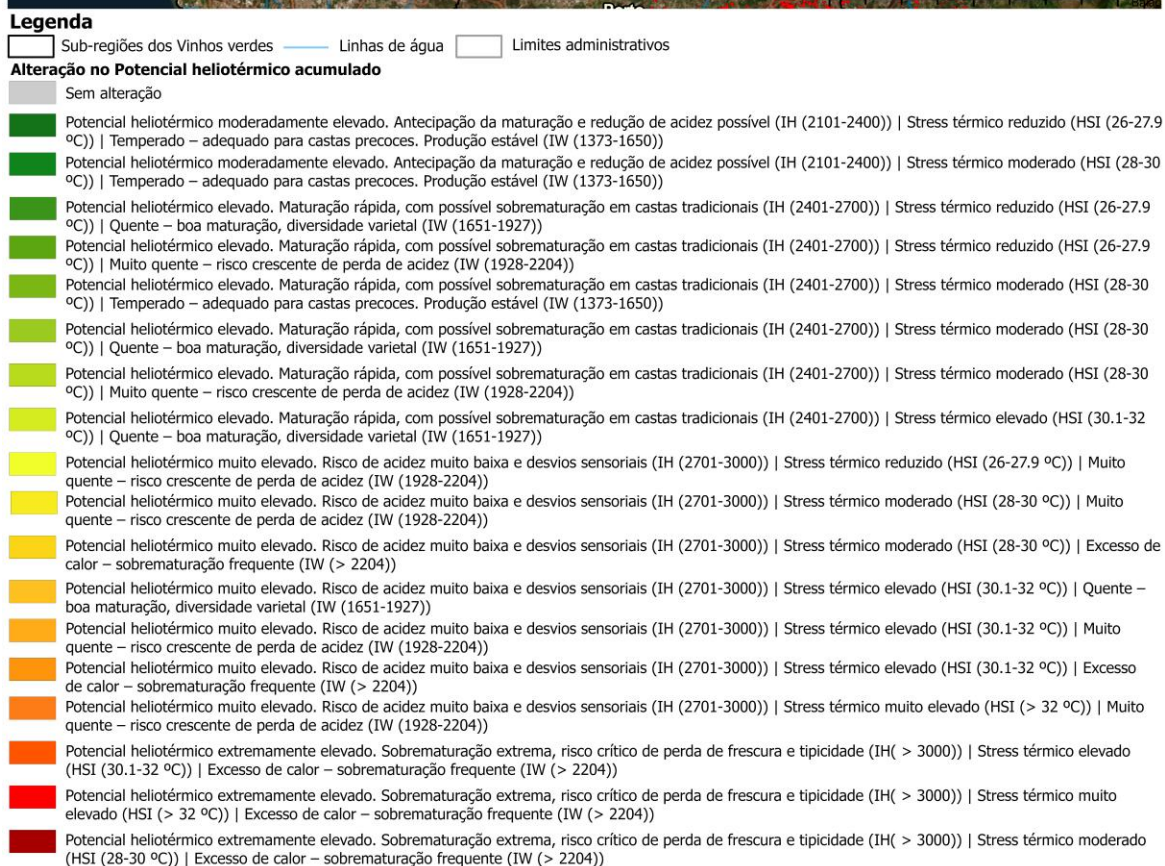
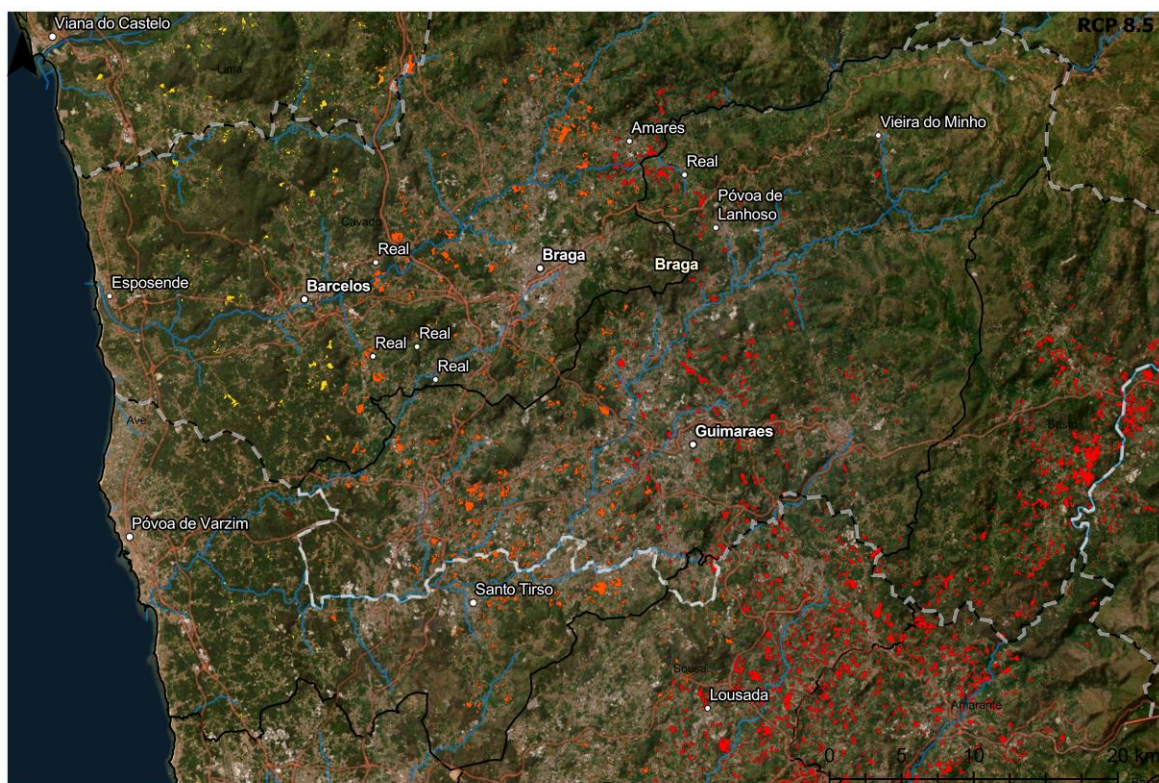
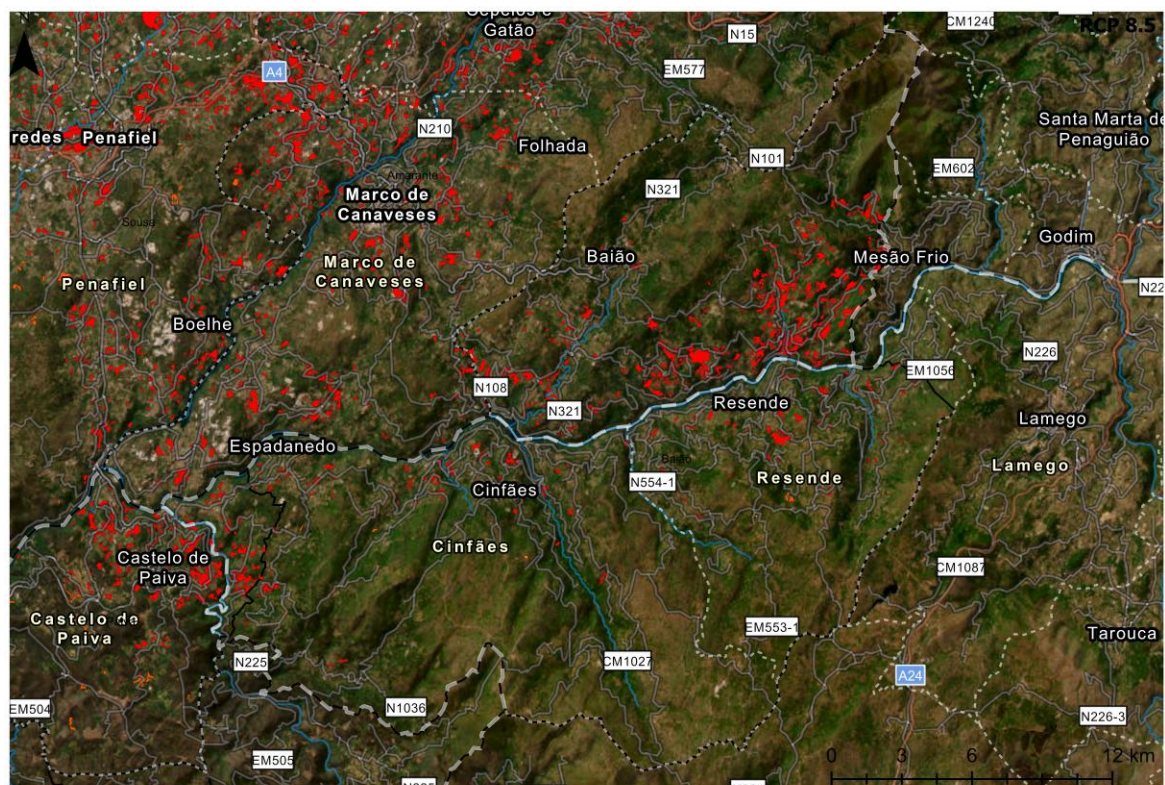


Figura A1.11. Alteração no potencial heliotérmico acumulado para o RCP 8.5 na sub-região do Ave.



Legenda

Sub-regiões dos Vinhos verdes Linhas de água Limites administrativos

Alteração no Potencial heliotérmico acumulado

Sem alteração

- Potencial heliotérmico moderadamente elevado. Antecipação da maturação e redução de acidez possível (IH (2101-2400)) | Stress térmico reduzido (HSI (26-27.9 °C)) | Temperado – adequado para castas precoces. Produção estável (IW (1373-1650))
- Potencial heliotérmico moderadamente elevado. Antecipação da maturação e redução de acidez possível (IH (2101-2400)) | Stress térmico moderado (HSI (28-30 °C)) | Temperado – adequado para castas precoces. Produção estável (IW (1373-1650))
- Potencial heliotérmico elevado. Maturação rápida, com possível sobrematuração em castas tradicionais (IH (2401-2700)) | Stress térmico reduzido (HSI (26-27.9 °C)) | Quente – boa maturação, diversidade varietal (IW (1651-1927))
- Potencial heliotérmico elevado. Maturação rápida, com possível sobrematuração em castas tradicionais (IH (2401-2700)) | Stress térmico reduzido (HSI (26-27.9 °C)) | Muito quente – risco crescente de perda de acidez (IW (1928-2204))
- Potencial heliotérmico elevado. Maturação rápida, com possível sobrematuração em castas tradicionais (IH (2401-2700)) | Stress térmico moderado (HSI (28-30 °C)) | Temperado – adequado para castas precoces. Produção estável (IW (1373-1650))
- Potencial heliotérmico elevado. Maturação rápida, com possível sobrematuração em castas tradicionais (IH (2401-2700)) | Stress térmico moderado (HSI (28-30 °C)) | Quente – boa maturação, diversidade varietal (IW (1651-1927))
- Potencial heliotérmico elevado. Maturação rápida, com possível sobrematuração em castas tradicionais (IH (2401-2700)) | Stress térmico moderado (HSI (28-30 °C)) | Muito quente – risco crescente de perda de acidez (IW (1928-2204))
- Potencial heliotérmico elevado. Maturação rápida, com possível sobrematuração em castas tradicionais (IH (2401-2700)) | Stress térmico elevado (HSI (30.1-32 °C)) | Quente – boa maturação, diversidade varietal (IW (1651-1927))
- Potencial heliotérmico muito elevado. Risco de acidez muito baixa e desvios sensoriais (IH (2701-3000)) | Stress térmico reduzido (HSI (26-27.9 °C)) | Muito quente – risco crescente de perda de acidez (IW (1928-2204))
- Potencial heliotérmico muito elevado. Risco de acidez muito baixa e desvios sensoriais (IH (2701-3000)) | Stress térmico moderado (HSI (28-30 °C)) | Muito quente – risco crescente de perda de acidez (IW (1928-2204))
- Potencial heliotérmico muito elevado. Risco de acidez muito baixa e desvios sensoriais (IH (2701-3000)) | Stress térmico moderado (HSI (28-30 °C)) | Excesso de calor – sobrematuração frequente (IW (> 2204))
- Potencial heliotérmico muito elevado. Risco de acidez muito baixa e desvios sensoriais (IH (2701-3000)) | Stress térmico elevado (HSI (30.1-32 °C)) | Quente – boa maturação, diversidade varietal (IW (1651-1927))
- Potencial heliotérmico muito elevado. Risco de acidez muito baixa e desvios sensoriais (IH (2701-3000)) | Stress térmico elevado (HSI (30.1-32 °C)) | Muito quente – risco crescente de perda de acidez (IW (1928-2204))
- Potencial heliotérmico muito elevado. Risco de acidez muito baixa e desvios sensoriais (IH (2701-3000)) | Stress térmico elevado (HSI (30.1-32 °C)) | Excesso de calor – sobrematuração frequente (IW (> 2204))
- Potencial heliotérmico muito elevado. Risco de acidez muito baixa e desvios sensoriais (IH (2701-3000)) | Stress térmico muito elevado (HSI (> 32 °C)) | Muito quente – risco crescente de perda de acidez (IW (1928-2204))
- Potencial heliotérmico extremamente elevado. Sobrematuração extrema, risco crítico de perda de frescura e tipicidade (IH (> 3000)) | Stress térmico elevado (HSI (30.1-32 °C)) | Excesso de calor – sobrematuração frequente (IW (> 2204))
- Potencial heliotérmico extremamente elevado. Sobrematuração extrema, risco crítico de perda de frescura e tipicidade (IH (> 3000)) | Stress térmico muito elevado (HSI (> 32 °C)) | Excesso de calor – sobrematuração frequente (IW (> 2204))
- Potencial heliotérmico extremamente elevado. Sobrematuração extrema, risco crítico de perda de frescura e tipicidade (IH (> 3000)) | Stress térmico moderado (HSI (28-30 °C)) | Excesso de calor – sobrematuração frequente (IW (> 2204))

Figura A1.12. Alteração no potencial heliotérmico acumulado para o RCP 8.5 na sub-região de Baião.

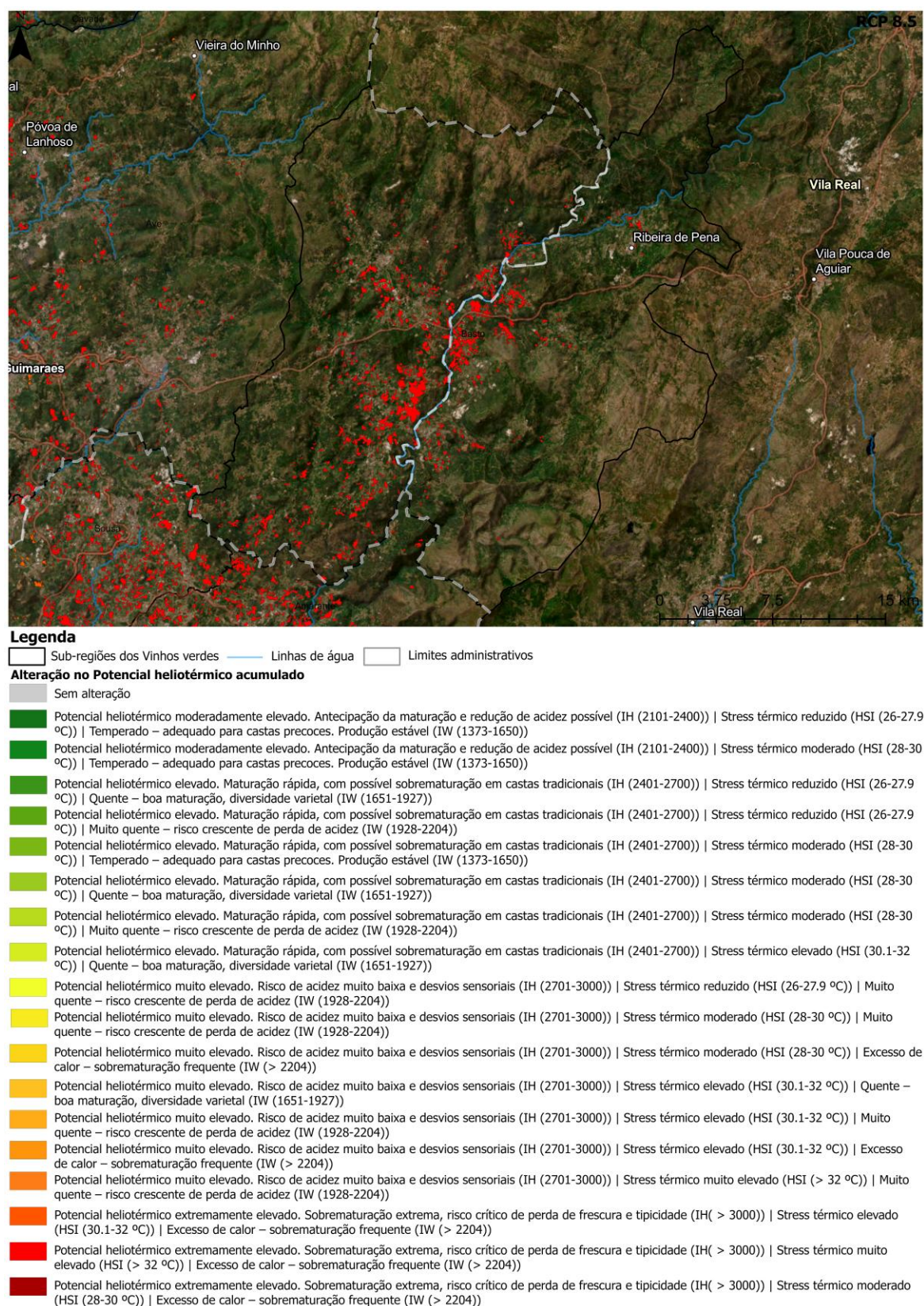


Figura A1.13. Alteração no potencial heliotérmico acumulado para o RCP 8.5 na sub-região de Basto.

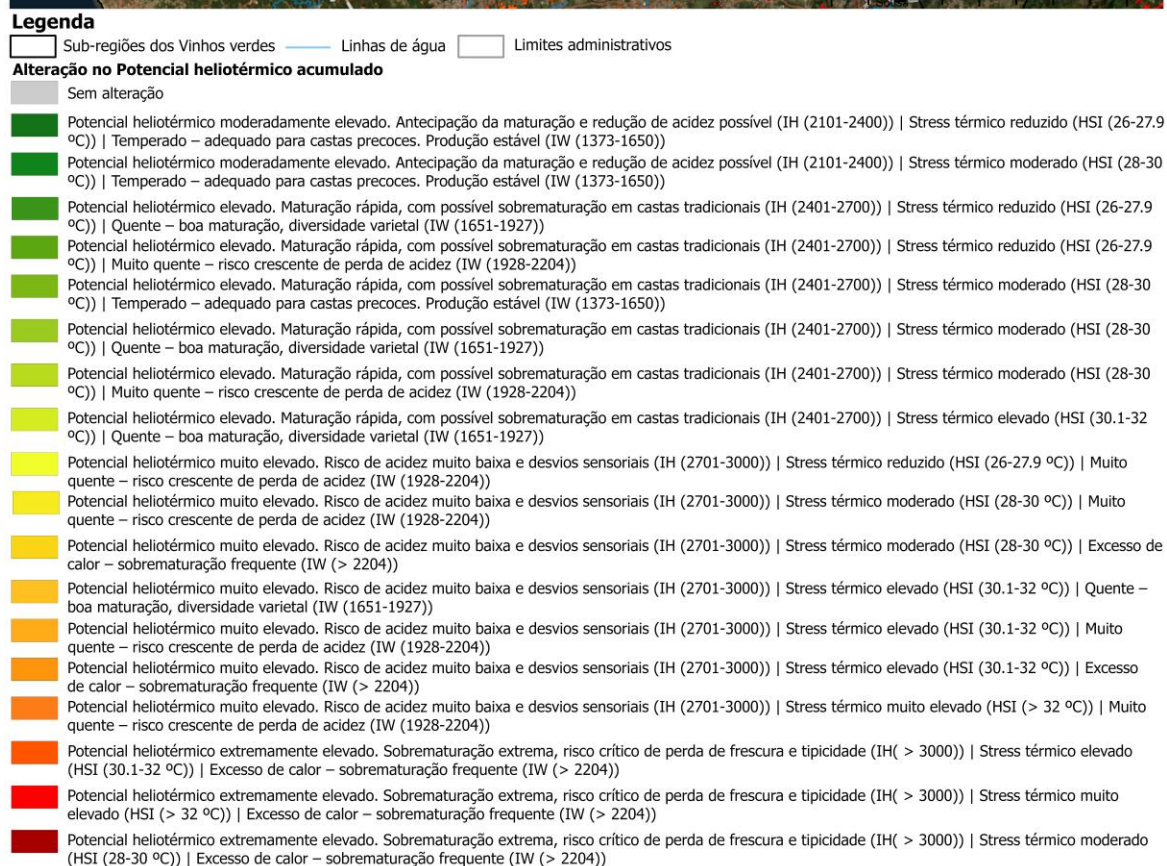
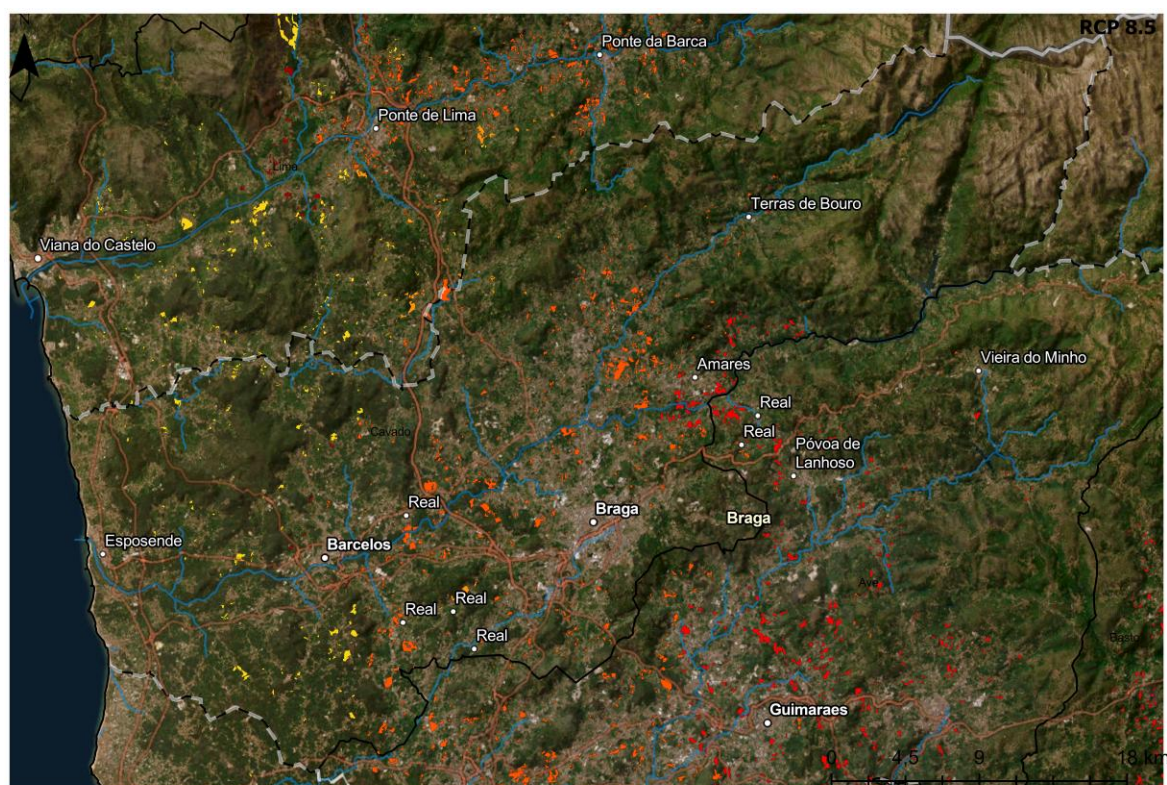


Figura A1.14. Alteração no potencial heliotérmico acumulado para o RCP 8.5 na sub-região do Cávado.

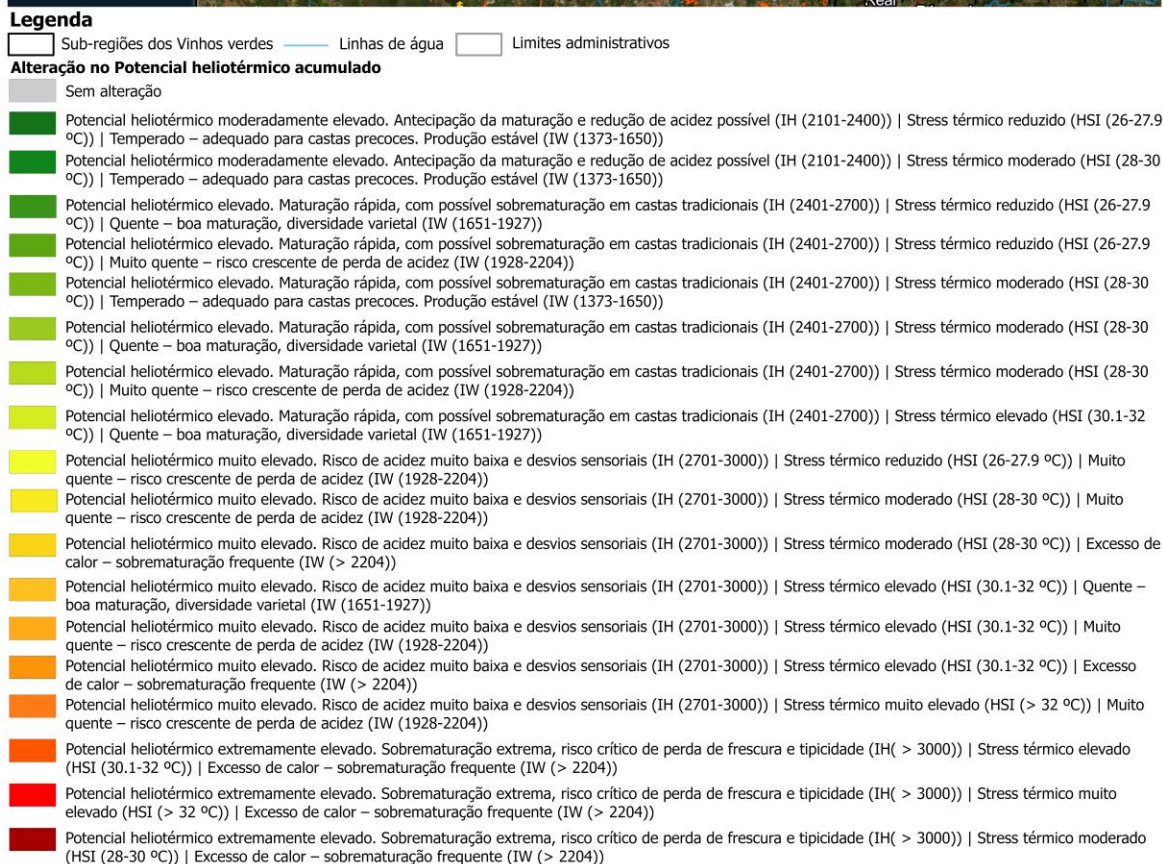
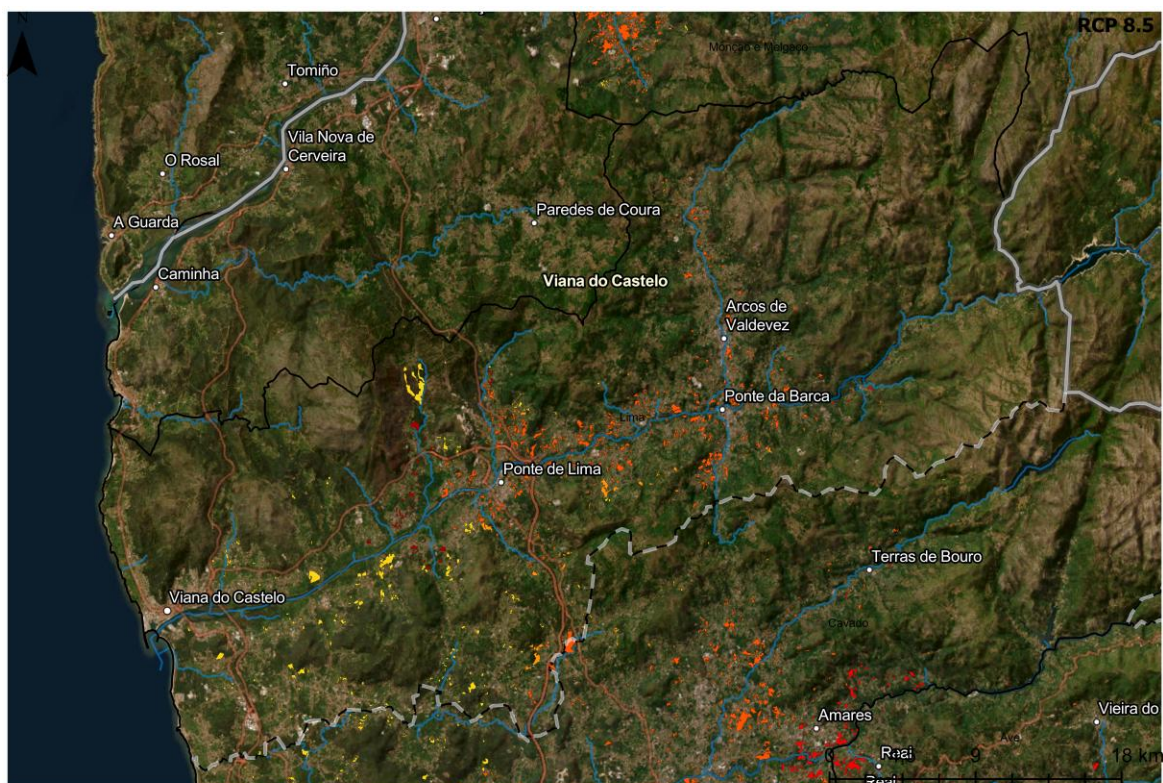
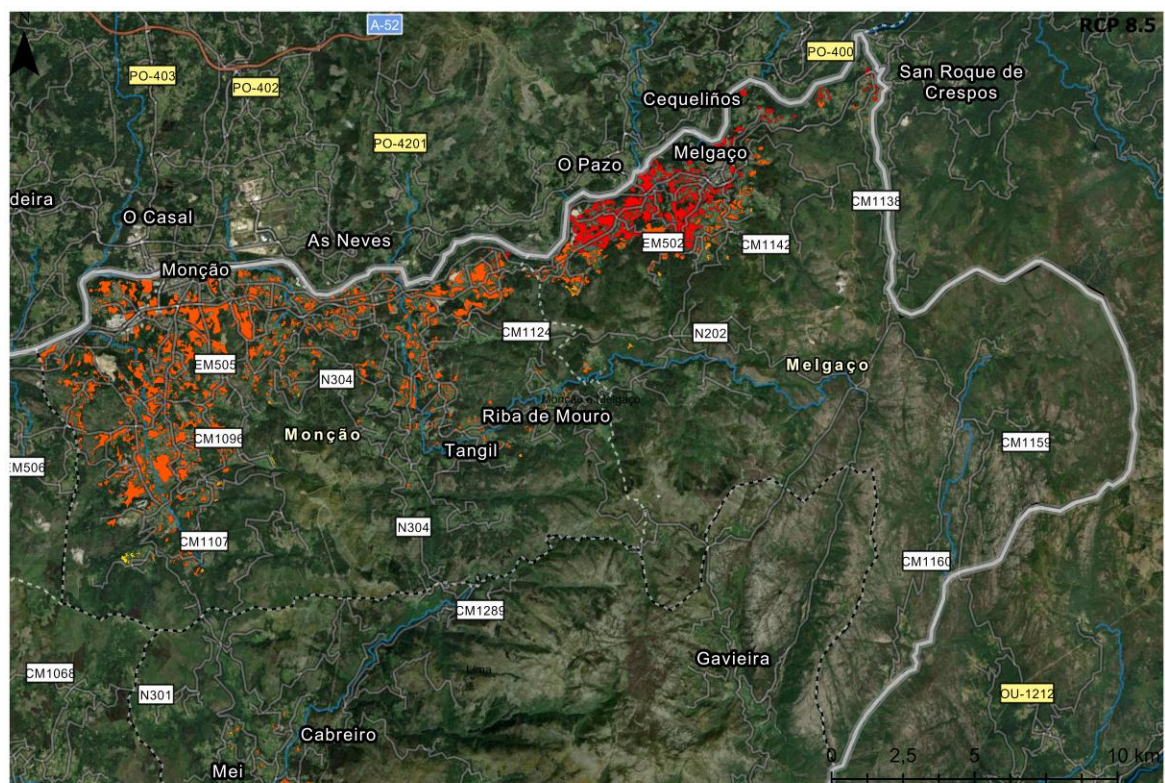


Figura A1.15. Alteração no potencial heliotérmico acumulado para o RCP 8.5 na sub-região do Lima.



Legenda

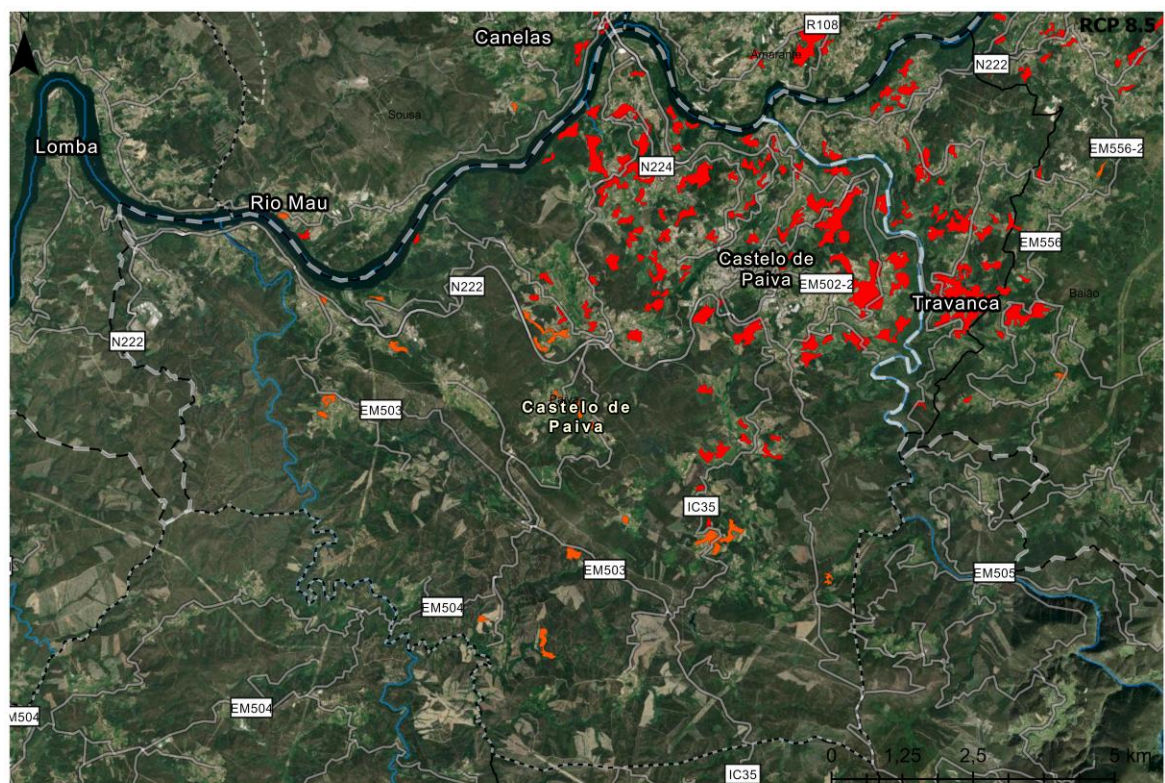
Sub-regiões dos Vinhos verdes Linhas de água Limites administrativos

Alteração no Potencial heliotérmico acumulado

Sem alteração

- Potencial heliotérmico moderadamente elevado. Antecipação da maturação e redução de acidez possível (IH (2101-2400)) | Stress térmico reduzido (HSI (26-27.9 °C)) | Temperado – adequado para castas precoces. Produção estável (IW (1373-1650))
- Potencial heliotérmico moderadamente elevado. Antecipação da maturação e redução de acidez possível (IH (2101-2400)) | Stress térmico moderado (HSI (28-30 °C)) | Temperado – adequado para castas precoces. Produção estável (IW (1373-1650))
- Potencial heliotérmico elevado. Maturação rápida, com possível sobrematuração em castas tradicionais (IH (2401-2700)) | Stress térmico reduzido (HSI (26-27.9 °C)) | Quente – boa maturação, diversidade varietal (IW (1651-1927))
- Potencial heliotérmico elevado. Maturação rápida, com possível sobrematuração em castas tradicionais (IH (2401-2700)) | Stress térmico reduzido (HSI (26-27.9 °C)) | Muito quente – risco crescente de perda de acidez (IW (1928-2204))
- Potencial heliotérmico elevado. Maturação rápida, com possível sobrematuração em castas tradicionais (IH (2401-2700)) | Stress térmico moderado (HSI (28-30 °C)) | Temperado – adequado para castas precoces. Produção estável (IW (1373-1650))
- Potencial heliotérmico elevado. Maturação rápida, com possível sobrematuração em castas tradicionais (IH (2401-2700)) | Stress térmico moderado (HSI (28-30 °C)) | Quente – boa maturação, diversidade varietal (IW (1651-1927))
- Potencial heliotérmico elevado. Maturação rápida, com possível sobrematuração em castas tradicionais (IH (2401-2700)) | Stress térmico moderado (HSI (28-30 °C)) | Muito quente – risco crescente de perda de acidez (IW (1928-2204))
- Potencial heliotérmico elevado. Maturação rápida, com possível sobrematuração em castas tradicionais (IH (2401-2700)) | Stress térmico elevado (HSI (30.1-32 °C)) | Quente – boa maturação, diversidade varietal (IW (1651-1927))
- Potencial heliotérmico muito elevado. Risco de acidez muito baixa e desvios sensoriais (IH (2701-3000)) | Stress térmico reduzido (HSI (26-27.9 °C)) | Muito quente – risco crescente de perda de acidez (IW (1928-2204))
- Potencial heliotérmico muito elevado. Risco de acidez muito baixa e desvios sensoriais (IH (2701-3000)) | Stress térmico moderado (HSI (28-30 °C)) | Muito quente – risco crescente de perda de acidez (IW (1928-2204))
- Potencial heliotérmico muito elevado. Risco de acidez muito baixa e desvios sensoriais (IH (2701-3000)) | Stress térmico moderado (HSI (28-30 °C)) | Excesso de calor – sobrematuração frequente (IW (> 2204))
- Potencial heliotérmico muito elevado. Risco de acidez muito baixa e desvios sensoriais (IH (2701-3000)) | Stress térmico elevado (HSI (30.1-32 °C)) | Quente – boa maturação, diversidade varietal (IW (1651-1927))
- Potencial heliotérmico muito elevado. Risco de acidez muito baixa e desvios sensoriais (IH (2701-3000)) | Stress térmico elevado (HSI (30.1-32 °C)) | Muito quente – risco crescente de perda de acidez (IW (1928-2204))
- Potencial heliotérmico muito elevado. Risco de acidez muito baixa e desvios sensoriais (IH (2701-3000)) | Stress térmico elevado (HSI (30.1-32 °C)) | Excesso de calor – sobrematuração frequente (IW (> 2204))
- Potencial heliotérmico muito elevado. Risco de acidez muito baixa e desvios sensoriais (IH (2701-3000)) | Stress térmico muito elevado (HSI (> 32 °C)) | Muito quente – risco crescente de perda de acidez (IW (1928-2204))
- Potencial heliotérmico extremamente elevado. Sobrematuração extrema, risco crítico de perda de frescura e tipicidade (IH (> 3000)) | Stress térmico elevado (HSI (30.1-32 °C)) | Excesso de calor – sobrematuração frequente (IW (> 2204))
- Potencial heliotérmico extremamente elevado. Sobrematuração extrema, risco crítico de perda de frescura e tipicidade (IH (> 3000)) | Stress térmico muito elevado (HSI (> 32 °C)) | Excesso de calor – sobrematuração frequente (IW (> 2204))
- Potencial heliotérmico extremamente elevado. Sobrematuração extrema, risco crítico de perda de frescura e tipicidade (IH (> 3000)) | Stress térmico moderado (HSI (28-30 °C)) | Excesso de calor – sobrematuração frequente (IW (> 2204))

Figura A1.16. Alteração no potencial heliotérmico acumulado para o RCP 8.5 na sub-região de Monção e Melgaço.



Legenda

Sub-regiões dos Vinhos verdes Linhas de água Limites administrativos

Alteração no Potencial heliotérmico acumulado

Sem alteração

- Potencial heliotérmico moderadamente elevado. Antecipação da maturação e redução de acidez possível (IH (2101-2400)) | Stress térmico reduzido (HSI (26-27.9 °C)) | Temperado – adequado para castas precoces. Produção estável (IW (1373-1650))
- Potencial heliotérmico moderadamente elevado. Antecipação da maturação e redução de acidez possível (IH (2101-2400)) | Stress térmico moderado (HSI (28-30 °C)) | Temperado – adequado para castas precoces. Produção estável (IW (1373-1650))
- Potencial heliotérmico elevado. Maturação rápida, com possível sobrematuração em castas tradicionais (IH (2401-2700)) | Stress térmico reduzido (HSI (26-27.9 °C)) | Quente – boa maturação, diversidade varietal (IW (1651-1927))
- Potencial heliotérmico elevado. Maturação rápida, com possível sobrematuração em castas tradicionais (IH (2401-2700)) | Stress térmico reduzido (HSI (26-27.9 °C)) | Muito quente – risco crescente de perda de acidez (IW (1928-2204))
- Potencial heliotérmico elevado. Maturação rápida, com possível sobrematuração em castas tradicionais (IH (2401-2700)) | Stress térmico moderado (HSI (28-30 °C)) | Temperado – adequado para castas precoces. Produção estável (IW (1373-1650))
- Potencial heliotérmico elevado. Maturação rápida, com possível sobrematuração em castas tradicionais (IH (2401-2700)) | Stress térmico moderado (HSI (28-30 °C)) | Quente – boa maturação, diversidade varietal (IW (1651-1927))
- Potencial heliotérmico elevado. Maturação rápida, com possível sobrematuração em castas tradicionais (IH (2401-2700)) | Stress térmico moderado (HSI (28-30 °C)) | Muito quente – risco crescente de perda de acidez (IW (1928-2204))
- Potencial heliotérmico elevado. Maturação rápida, com possível sobrematuração em castas tradicionais (IH (2401-2700)) | Stress térmico elevado (HSI (30.1-32 °C)) | Quente – boa maturação, diversidade varietal (IW (1651-1927))
- Potencial heliotérmico muito elevado. Risco de acidez muito baixa e desvios sensoriais (IH (2701-3000)) | Stress térmico reduzido (HSI (26-27.9 °C)) | Muito quente – risco crescente de perda de acidez (IW (1928-2204))
- Potencial heliotérmico muito elevado. Risco de acidez muito baixa e desvios sensoriais (IH (2701-3000)) | Stress térmico moderado (HSI (28-30 °C)) | Muito quente – risco crescente de perda de acidez (IW (1928-2204))
- Potencial heliotérmico muito elevado. Risco de acidez muito baixa e desvios sensoriais (IH (2701-3000)) | Stress térmico moderado (HSI (28-30 °C)) | Excesso de calor – sobrematuração frequente (IW (> 2204))
- Potencial heliotérmico muito elevado. Risco de acidez muito baixa e desvios sensoriais (IH (2701-3000)) | Stress térmico elevado (HSI (30.1-32 °C)) | Quente – boa maturação, diversidade varietal (IW (1651-1927))
- Potencial heliotérmico muito elevado. Risco de acidez muito baixa e desvios sensoriais (IH (2701-3000)) | Stress térmico elevado (HSI (30.1-32 °C)) | Muito quente – risco crescente de perda de acidez (IW (1928-2204))
- Potencial heliotérmico muito elevado. Risco de acidez muito baixa e desvios sensoriais (IH (2701-3000)) | Stress térmico elevado (HSI (30.1-32 °C)) | Excesso de calor – sobrematuração frequente (IW (> 2204))
- Potencial heliotérmico muito elevado. Risco de acidez muito baixa e desvios sensoriais (IH (2701-3000)) | Stress térmico muito elevado (HSI (> 32 °C)) | Muito quente – risco crescente de perda de acidez (IW (1928-2204))
- Potencial heliotérmico extremamente elevado. Sobrematuração extrema, risco crítico de perda de frescura e tipicidade (IH (> 3000)) | Stress térmico elevado (HSI (30.1-32 °C)) | Excesso de calor – sobrematuração frequente (IW (> 2204))
- Potencial heliotérmico extremamente elevado. Sobrematuração extrema, risco crítico de perda de frescura e tipicidade (IH (> 3000)) | Stress térmico muito elevado (HSI (> 32 °C)) | Excesso de calor – sobrematuração frequente (IW (> 2204))
- Potencial heliotérmico extremamente elevado. Sobrematuração extrema, risco crítico de perda de frescura e tipicidade (IH (> 3000)) | Stress térmico moderado (HSI (28-30 °C)) | Excesso de calor – sobrematuração frequente (IW (> 2204))

Figura A1.17. Alteração no potencial heliotérmico acumulado para o RCP 8.5 na sub-região do Paiva.

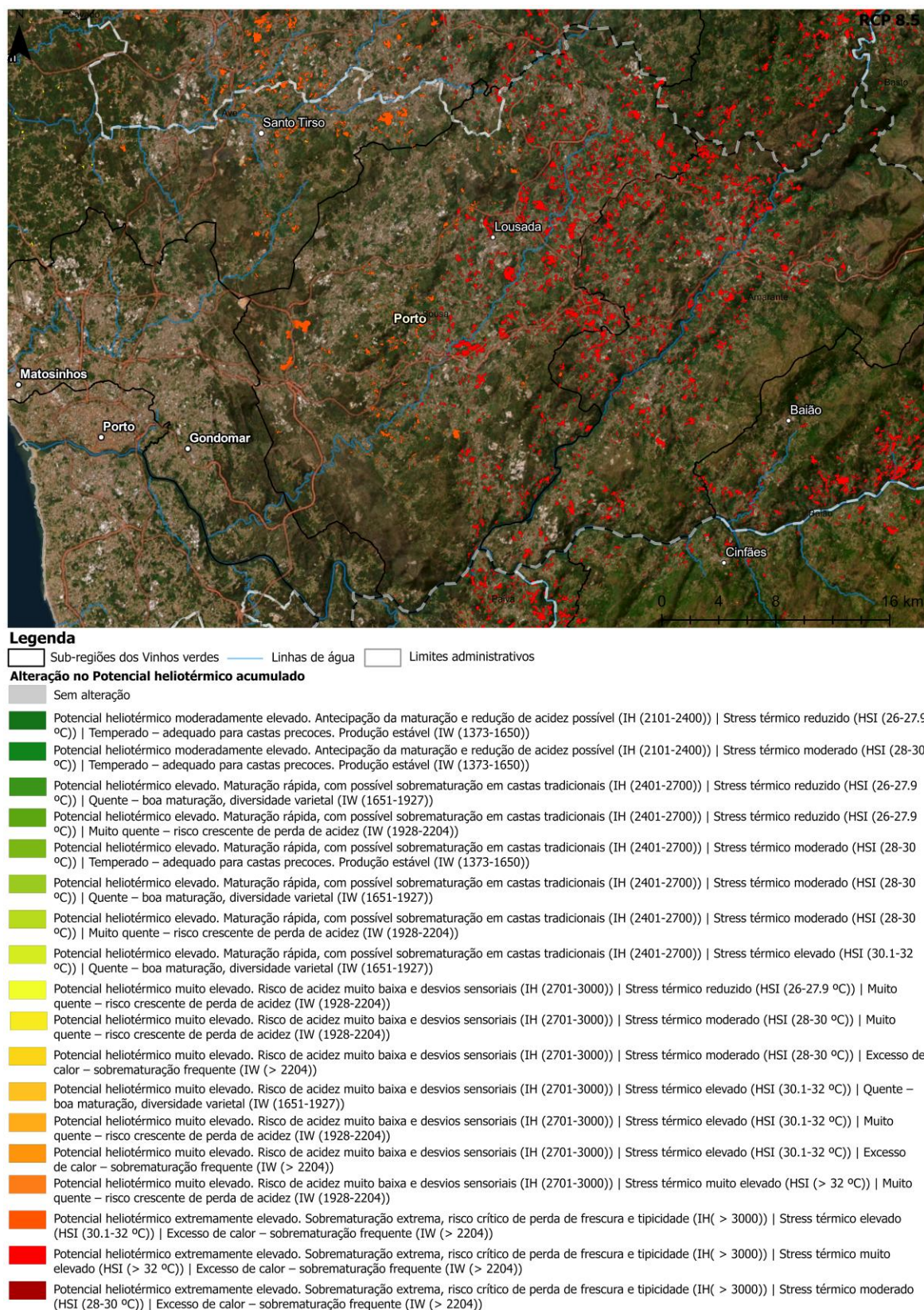
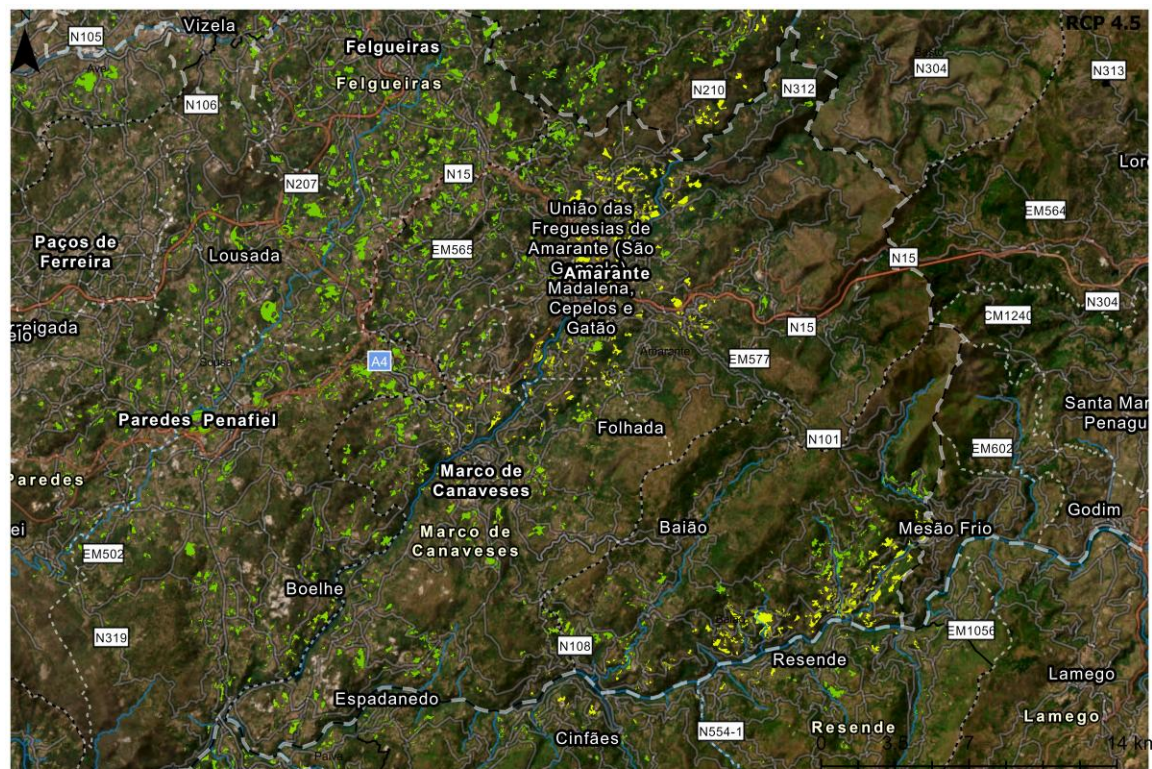


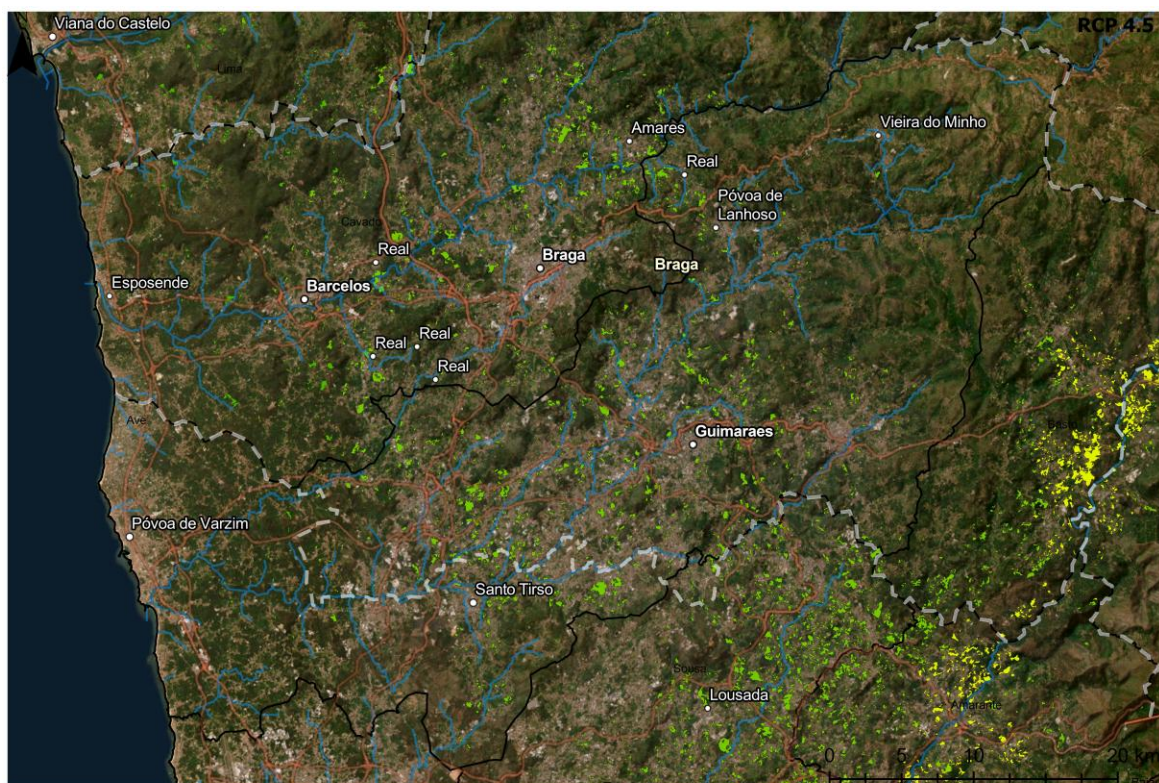
Figura A1.18. Alteração no potencial heliotérmico acumulado para o RCP 8.5 na sub-região do Sousa.

ANEXO II – Condições térmicas de maturação



	Sub-regiões dos Vinhos verdes		Linhas de água		Limites administrativos
	Sem alteração				
	Leve défice térmico, ainda compatível com maturação satisfatória (ATWM (20.1-22 °C)) Ligeiramente fresco. Preserva acidez e favorece qualidade fenólica (ATHM (18.1-20 °C)) Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))				
	Leve défice térmico, ainda compatível com maturação satisfatória (ATWM (20.1-22 °C)) Intervalo ideal. Maturação equilibrada com ligeira perda de acidez possível (ATHM (20.1-22 °C)) Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))				
	Intervalo térmico ideal para a maturação equilibrada das castas regionais (ATWM (22.1-24 °C)) Ligeiramente fresco. Preserva acidez e favorece qualidade fenólica (ATHM (18.1-20 °C)) Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))				
	Intervalo térmico ideal para a maturação equilibrada das castas regionais (ATWM (22.1-24 °C)) Intervalo ideal. Maturação equilibrada com ligeira perda de acidez possível (ATHM (20.1-22 °C)) Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))				
	Intervalo térmico ideal para a maturação equilibrada das castas regionais (ATWM (22.1-24 °C)) Temperatura ligeiramente superior ao intervalo ideal. Pode exigir antecipação da vindima (ATHM (22.1-24 °C)) Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))				
	Intervalo térmico ideal para a maturação equilibrada das castas regionais (ATWM (22.1-24 °C)) Temperatura ligeiramente superior ao intervalo ideal. Pode exigir antecipação da vindima (ATHM (22.1-24 °C)) Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))				
	Leve excesso térmico compromete parcialmente a frescura e complexidade aromática (ATWM (24.1-26 °C)) Intervalo ideal. Maturação equilibrada com ligeira perda de acidez possível (ATHM (20.1-22 °C)) Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))				
	Leve excesso térmico compromete parcialmente a frescura e complexidade aromática (ATWM (24.1-26 °C)) Temperatura ligeiramente superior ao intervalo ideal. Pode exigir antecipação da vindima (ATHM (22.1-24 °C)) Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))				
	Leve excesso térmico compromete parcialmente a frescura e complexidade aromática (ATWM (24.1-26 °C)) Temperatura ligeiramente superior ao intervalo ideal. Pode exigir antecipação da vindima (ATHM (22.1-24 °C)) Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))				
	Leve excesso térmico compromete parcialmente a frescura e complexidade aromática (ATWM (24.1-26 °C)) Moderadamente quente. Maturação acelerada que pode comprometer o equilíbrio álcool/acidez (ATHM (24.1-26 °C)) Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))				
	Leve excesso térmico compromete parcialmente a frescura e complexidade aromática (ATWM (24.1-26 °C)) Moderadamente quente. Maturação acelerada que pode comprometer o equilíbrio álcool/acidez (ATHM (24.1-26 °C)) Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))				
	Temperaturas moderadamente elevadas podem provocar desequilíbrio fenológico e perda de tipicidade (ATWM (26.1-28 °C)) Temperatura ligeiramente superior ao intervalo ideal. Pode exigir antecipação da vindima (ATHM (22.1-24 °C)) Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))				
	Temperaturas moderadamente elevadas podem provocar desequilíbrio fenológico e perda de tipicidade (ATWM (26.1-28 °C)) Temperatura ligeiramente superior ao intervalo ideal. Pode exigir antecipação da vindima (ATHM (22.1-24 °C)) Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))				
	Temperaturas moderadamente elevadas podem provocar desequilíbrio fenológico e perda de tipicidade (ATWM (26.1-28 °C)) Moderadamente quente. Maturação acelerada que pode comprometer o equilíbrio álcool/acidez (ATHM (24.1-26 °C)) Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))				
	Temperaturas moderadamente elevadas podem provocar desequilíbrio fenológico e perda de tipicidade (ATWM (26.1-28 °C)) Moderadamente quente. Maturação acelerada que pode comprometer o equilíbrio álcool/acidez (ATHM (24.1-26 °C)) Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))				
	Temperaturas moderadamente elevadas podem provocar desequilíbrio fenológico e perda de tipicidade (ATWM (26.1-28 °C)) Quente. Sobre-maturação provável e risco de perda de frescura (ATHM (26.1-28 °C)) Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))				
	Temperaturas moderadamente elevadas podem provocar desequilíbrio fenológico e perda de tipicidade (ATWM (26.1-28 °C)) Quente. Sobre-maturação provável e risco de perda de frescura (ATHM (26.1-28 °C)) Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))				

Figura A2.1. Alteração nas condições térmicas de maturação para o RCP 4.5 na sub-região de Amarante.



Legenda

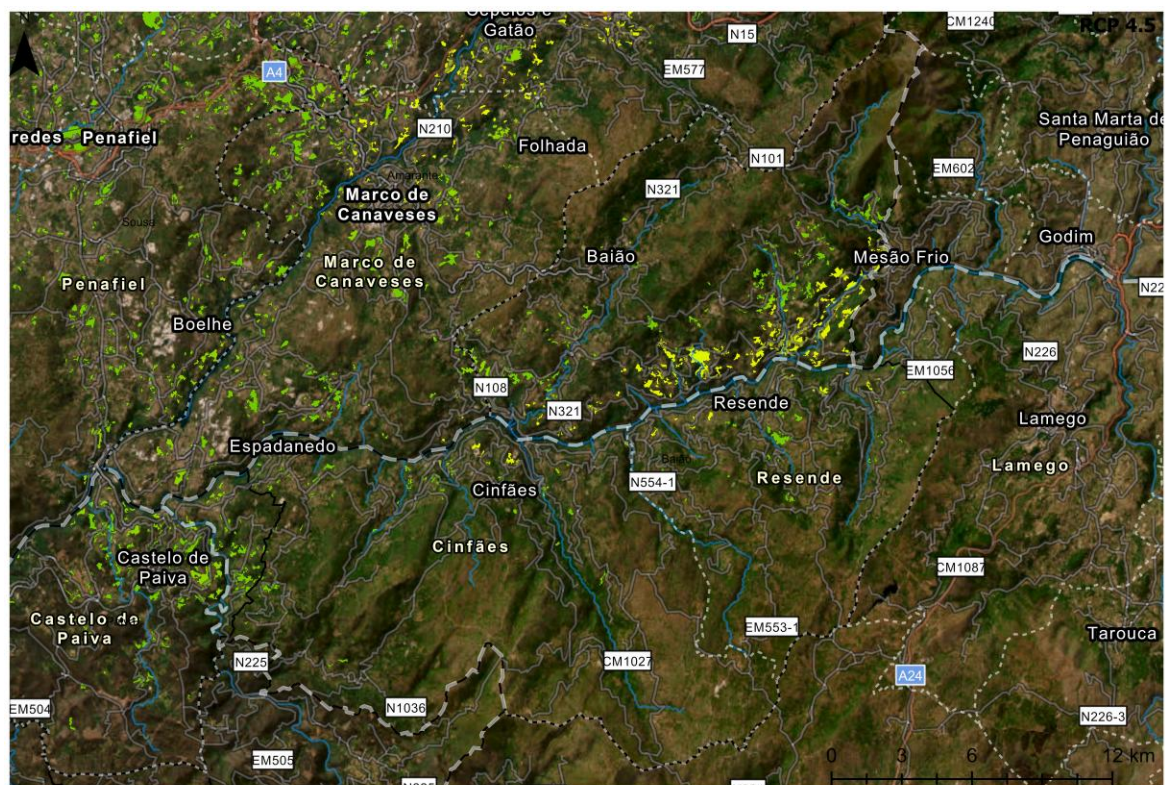
Sub-regiões dos Vinhos verdes Linhas de água Limites administrativos

Alteração nas condições térmicas de maturação

Sem alteração

- Leve défice térmico, ainda compatível com maturação satisfatória (ATWM (20.1-22 °C)) | Ligeiramente fresco. Preserva acidez e favorece qualidade fenólica (ATHM (18.1-20 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Leve défice térmico, ainda compatível com maturação satisfatória (ATWM (20.1-22 °C)) | Intervalo ideal. Maturação equilibrada com ligeira perda de acidez possível (ATHM (20.1-22 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Intervalo térmico ideal para a maturação equilibrada das castas regionais (ATWM (22.1-24 °C)) | Ligeiramente fresco. Preserva acidez e favorece qualidade fenólica (ATHM (18.1-20 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Intervalo térmico ideal para a maturação equilibrada das castas regionais (ATWM (22.1-24 °C)) | Intervalo ideal. Maturação equilibrada com ligeira perda de acidez possível (ATHM (20.1-22 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Intervalo térmico ideal para a maturação equilibrada das castas regionais (ATWM (22.1-24 °C)) | Temperatura ligeiramente superior ao intervalo ideal. Pode exigir antecipação da vindima (ATHM (22.1-24 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Intervalo térmico ideal para a maturação equilibrada das castas regionais (ATWM (22.1-24 °C)) | Temperatura ligeiramente superior ao intervalo ideal. Pode exigir antecipação da vindima (ATHM (22.1-24 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))
- Leve excesso térmico compromete parcialmente a frescura e complexidade aromática (ATWM (24.1-26 °C)) | Intervalo ideal. Maturação equilibrada com ligeira perda de acidez possível (ATHM (20.1-22 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Leve excesso térmico compromete parcialmente a frescura e complexidade aromática (ATWM (24.1-26 °C)) | Temperatura ligeiramente superior ao intervalo ideal. Pode exigir antecipação da vindima (ATHM (22.1-24 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Leve excesso térmico compromete parcialmente a frescura e complexidade aromática (ATWM (24.1-26 °C)) | Temperatura ligeiramente superior ao intervalo ideal. Pode exigir antecipação da vindima (ATHM (22.1-24 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))
- Leve excesso térmico compromete parcialmente a frescura e complexidade aromática (ATWM (24.1-26 °C)) | Moderadamente quente. Maturação acelerada que pode comprometer o equilíbrio álcool/acidez (ATHM (24.1-26 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))
- Leve excesso térmico compromete parcialmente a frescura e complexidade aromática (ATWM (24.1-26 °C)) | Moderadamente quente. Maturação acelerada que pode comprometer o equilíbrio álcool/acidez (ATHM (24.1-26 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Temperaturas moderadamente elevadas podem provocar desequilíbrio fenológico e perda de tipicidade (ATWM (26.1-28 °C)) | Temperatura ligeiramente superior ao intervalo ideal. Pode exigir antecipação da vindima (ATHM (22.1-24 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))
- Temperaturas moderadamente elevadas podem provocar desequilíbrio fenológico e perda de tipicidade (ATWM (26.1-28 °C)) | Temperatura ligeiramente superior ao intervalo ideal. Pode exigir antecipação da vindima (ATHM (22.1-24 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Temperaturas moderadamente elevadas podem provocar desequilíbrio fenológico e perda de tipicidade (ATWM (26.1-28 °C)) | Moderadamente quente. Maturação acelerada que pode comprometer o equilíbrio álcool/acidez (ATHM (24.1-26 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Temperaturas moderadamente elevadas podem provocar desequilíbrio fenológico e perda de tipicidade (ATWM (26.1-28 °C)) | Moderadamente quente. Maturação acelerada que pode comprometer o equilíbrio álcool/acidez (ATHM (24.1-26 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))
- Temperaturas moderadamente elevadas podem provocar desequilíbrio fenológico e perda de tipicidade (ATWM (26.1-28 °C)) | Quente. Sobrematuração provável e risco de perda de frescura (ATHM (26.1-28 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))
- Temperaturas elevadas induzem sobrematuração, exigindo vindima antecipada (ATWM (28.1-30 °C)) | Quente. Sobrematuração provável e risco de perda de frescura (ATHM (26.1-28 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))

Figura A2.2. Alteração nas condições térmicas de maturação para o RCP 4.5 na sub-região de Ave.



Legenda

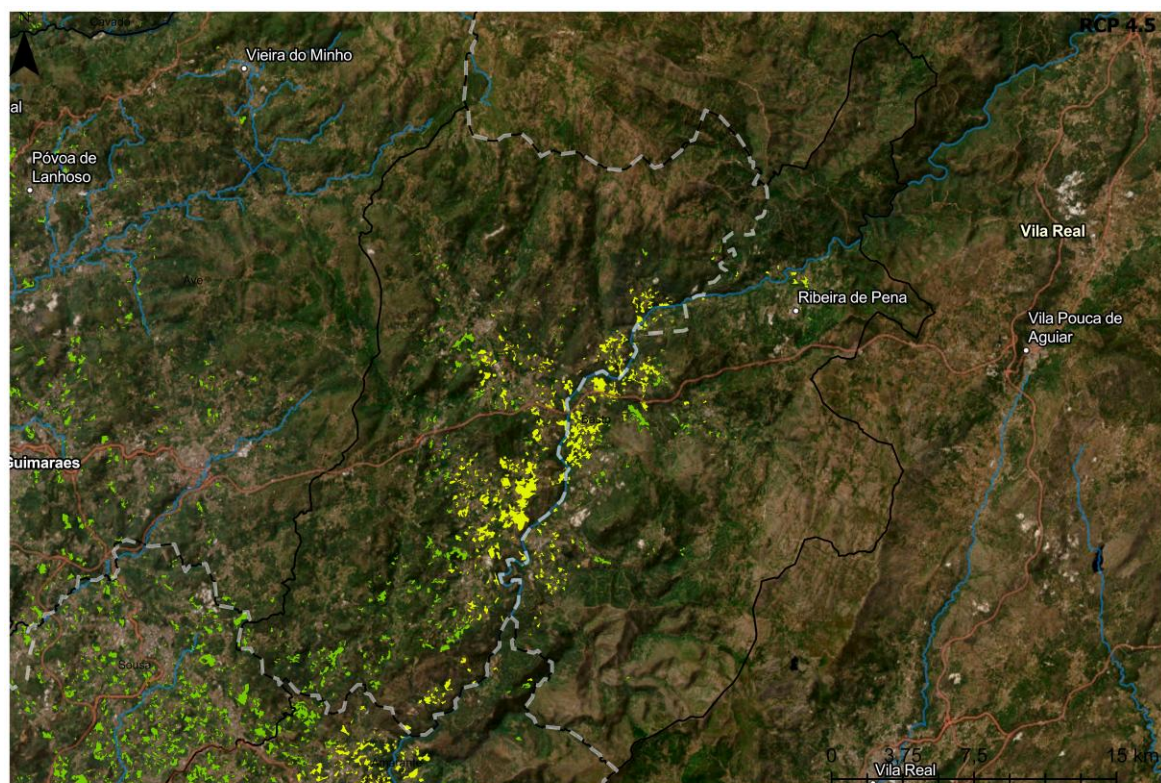
Sub-regiões dos Vinhos verdes Linhas de água Limites administrativos

Alteração nas condições térmicas de maturação

Sem alteração

- Leve défice térmico, ainda compatível com maturação satisfatória (ATWM (20.1-22 °C)) | Ligeiramente fresco. Preserva acidez e favorece qualidade fenólica (ATHM (18.1-20 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Leve défice térmico, ainda compatível com maturação satisfatória (ATWM (20.1-22 °C)) | Intervalo ideal. Maturação equilibrada com ligeira perda de acidez possível (ATHM (20.1-22 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Intervalo térmico ideal para a maturação equilibrada das castas regionais (ATWM (22.1-24 °C)) | Ligeiramente fresco. Preserva acidez e favorece qualidade fenólica (ATHM (18.1-20 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Intervalo térmico ideal para a maturação equilibrada das castas regionais (ATWM (22.1-24 °C)) | Intervalo ideal. Maturação equilibrada com ligeira perda de acidez possível (ATHM (20.1-22 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Intervalo térmico ideal para a maturação equilibrada das castas regionais (ATWM (22.1-24 °C)) | Temperatura ligeiramente superior ao intervalo ideal. Pode exigir antecipação da vindima (ATHM (22.1-24 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Intervalo térmico ideal para a maturação equilibrada das castas regionais (ATWM (22.1-24 °C)) | Temperatura ligeiramente superior ao intervalo ideal. Pode exigir antecipação da vindima (ATHM (22.1-24 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))
- Leve excesso térmico compromete parcialmente a frescura e complexidade aromática (ATWM (24.1-26 °C)) | Intervalo ideal. Maturação equilibrada com ligeira perda de acidez possível (ATHM (20.1-22 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Leve excesso térmico compromete parcialmente a frescura e complexidade aromática (ATWM (24.1-26 °C)) | Temperatura ligeiramente superior ao intervalo ideal. Pode exigir antecipação da vindima (ATHM (22.1-24 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Leve excesso térmico compromete parcialmente a frescura e complexidade aromática (ATWM (24.1-26 °C)) | Temperatura ligeiramente superior ao intervalo ideal. Pode exigir antecipação da vindima (ATHM (22.1-24 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))
- Leve excesso térmico compromete parcialmente a frescura e complexidade aromática (ATWM (24.1-26 °C)) | Moderadamente quente. Maturação acelerada que pode comprometer o equilíbrio álcool/acidez (ATHM (24.1-26 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))
- Leve excesso térmico compromete parcialmente a frescura e complexidade aromática (ATWM (24.1-26 °C)) | Moderadamente quente. Maturação acelerada que pode comprometer o equilíbrio álcool/acidez (ATHM (24.1-26 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Temperaturas moderadamente elevadas podem provocar desequilíbrio fenológico e perda de tipicidade (ATWM (26.1-28 °C)) | Temperatura ligeiramente superior ao intervalo ideal. Pode exigir antecipação da vindima (ATHM (22.1-24 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))
- Temperaturas moderadamente elevadas podem provocar desequilíbrio fenológico e perda de tipicidade (ATWM (26.1-28 °C)) | Temperatura ligeiramente superior ao intervalo ideal. Pode exigir antecipação da vindima (ATHM (22.1-24 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Temperaturas moderadamente elevadas podem provocar desequilíbrio fenológico e perda de tipicidade (ATWM (26.1-28 °C)) | Moderadamente quente. Maturação acelerada que pode comprometer o equilíbrio álcool/acidez (ATHM (24.1-26 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Temperaturas moderadamente elevadas podem provocar desequilíbrio fenológico e perda de tipicidade (ATWM (26.1-28 °C)) | Moderadamente quente. Maturação acelerada que pode comprometer o equilíbrio álcool/acidez (ATHM (24.1-26 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))
- Temperaturas moderadamente elevadas podem provocar desequilíbrio fenológico e perda de tipicidade (ATWM (26.1-28 °C)) | Quente. Sobrematuração provável e risco de perda de frescura (ATHM (26.1-28 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))
- Temperaturas elevadas induzem sobrematuração, exigindo vindima antecipada (ATWM (28.1-30 °C)) | Quente. Sobrematuração provável e risco de perda de frescura (ATHM (26.1-28 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))

Figura A2. 3. Alteração nas condições térmicas de maturação para o RCP 4.5 na sub-região de Baião.



Legenda

Sub-regiões dos Vinhos verdes Linhas de água Limites administrativos

Alteração nas condições térmicas de maturação

Sem alteração

- Leve défice térmico, ainda compatível com maturação satisfatória (ATWM (20.1-22 °C)) | Ligeiramente fresco. Preserva acidez e favorece qualidade fenólica (ATHM (18.1-20 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Leve défice térmico, ainda compatível com maturação satisfatória (ATWM (20.1-22 °C)) | Intervalo ideal. Maturação equilibrada com ligeira perda de acidez possível (ATHM (20.1-22 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Intervalo térmico ideal para a maturação equilibrada das castas regionais (ATWM (22.1-24 °C)) | Ligeiramente fresco. Preserva acidez e favorece qualidade fenólica (ATHM (18.1-20 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Intervalo térmico ideal para a maturação equilibrada das castas regionais (ATWM (22.1-24 °C)) | Intervalo ideal. Maturação equilibrada com ligeira perda de acidez possível (ATHM (20.1-22 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Intervalo térmico ideal para a maturação equilibrada das castas regionais (ATWM (22.1-24 °C)) | Temperatura ligeiramente superior ao intervalo ideal. Pode exigir antecipação da vindima (ATHM (22.1-24 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Intervalo térmico ideal para a maturação equilibrada das castas regionais (ATWM (22.1-24 °C)) | Temperatura ligeiramente superior ao intervalo ideal. Pode exigir antecipação da vindima (ATHM (22.1-24 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))
- Leve excesso térmico compromete parcialmente a frescura e complexidade aromática (ATWM (24.1-26 °C)) | Intervalo ideal. Maturação equilibrada com ligeira perda de acidez possível (ATHM (20.1-22 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Leve excesso térmico compromete parcialmente a frescura e complexidade aromática (ATWM (24.1-26 °C)) | Temperatura ligeiramente superior ao intervalo ideal. Pode exigir antecipação da vindima (ATHM (22.1-24 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Leve excesso térmico compromete parcialmente a frescura e complexidade aromática (ATWM (24.1-26 °C)) | Temperatura ligeiramente superior ao intervalo ideal. Pode exigir antecipação da vindima (ATHM (22.1-24 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))
- Leve excesso térmico compromete parcialmente a frescura e complexidade aromática (ATWM (24.1-26 °C)) | Moderadamente quente. Maturação acelerada que pode comprometer o equilíbrio álcool/acidez (ATHM (24.1-26 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))
- Leve excesso térmico compromete parcialmente a frescura e complexidade aromática (ATWM (24.1-26 °C)) | Moderadamente quente. Maturação acelerada que pode comprometer o equilíbrio álcool/acidez (ATHM (24.1-26 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Temperaturas moderadamente elevadas podem provocar desequilíbrio fenológico e perda de tipicidade (ATWM (26.1-28 °C)) | Temperatura ligeiramente superior ao intervalo ideal. Pode exigir antecipação da vindima (ATHM (22.1-24 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))
- Temperaturas moderadamente elevadas podem provocar desequilíbrio fenológico e perda de tipicidade (ATWM (26.1-28 °C)) | Temperatura ligeiramente superior ao intervalo ideal. Pode exigir antecipação da vindima (ATHM (22.1-24 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Temperaturas moderadamente elevadas podem provocar desequilíbrio fenológico e perda de tipicidade (ATWM (26.1-28 °C)) | Moderadamente quente. Maturação acelerada que pode comprometer o equilíbrio álcool/acidez (ATHM (24.1-26 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))
- Temperaturas moderadamente elevadas podem provocar desequilíbrio fenológico e perda de tipicidade (ATWM (26.1-28 °C)) | Moderadamente quente. Maturação acelerada que pode comprometer o equilíbrio álcool/acidez (ATHM (24.1-26 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))
- Temperaturas moderadamente elevadas podem provocar desequilíbrio fenológico e perda de tipicidade (ATWM (26.1-28 °C)) | Quente. Sobrematuração provável e risco de perda de frescura (ATHM (26.1-28 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))
- Temperaturas elevadas induzem sobrematuração, exigindo vindima antecipada (ATWM (28.1-30 °C)) | Quente. Sobrematuração provável e risco de perda de frescura (ATHM (26.1-28 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))

Figura A2.4. Alteração nas condições térmicas de maturação para o RCP 4.5 na sub-região de Basto.

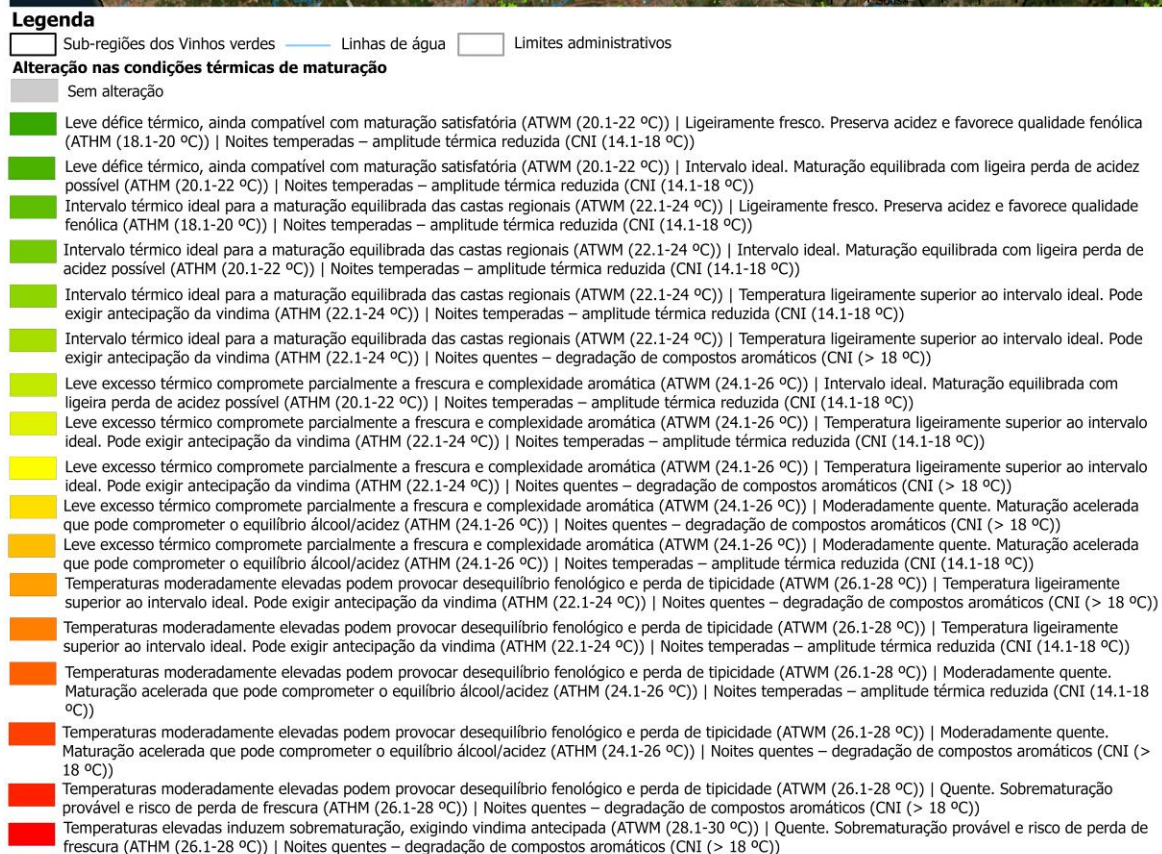
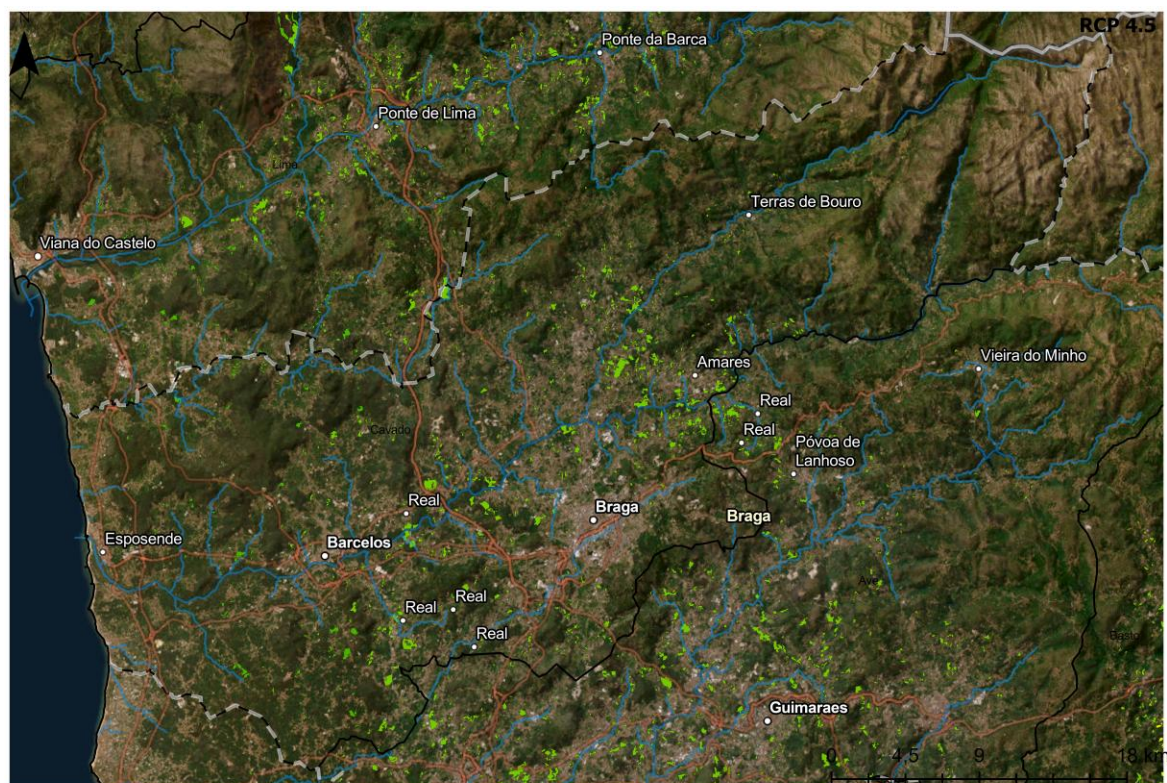
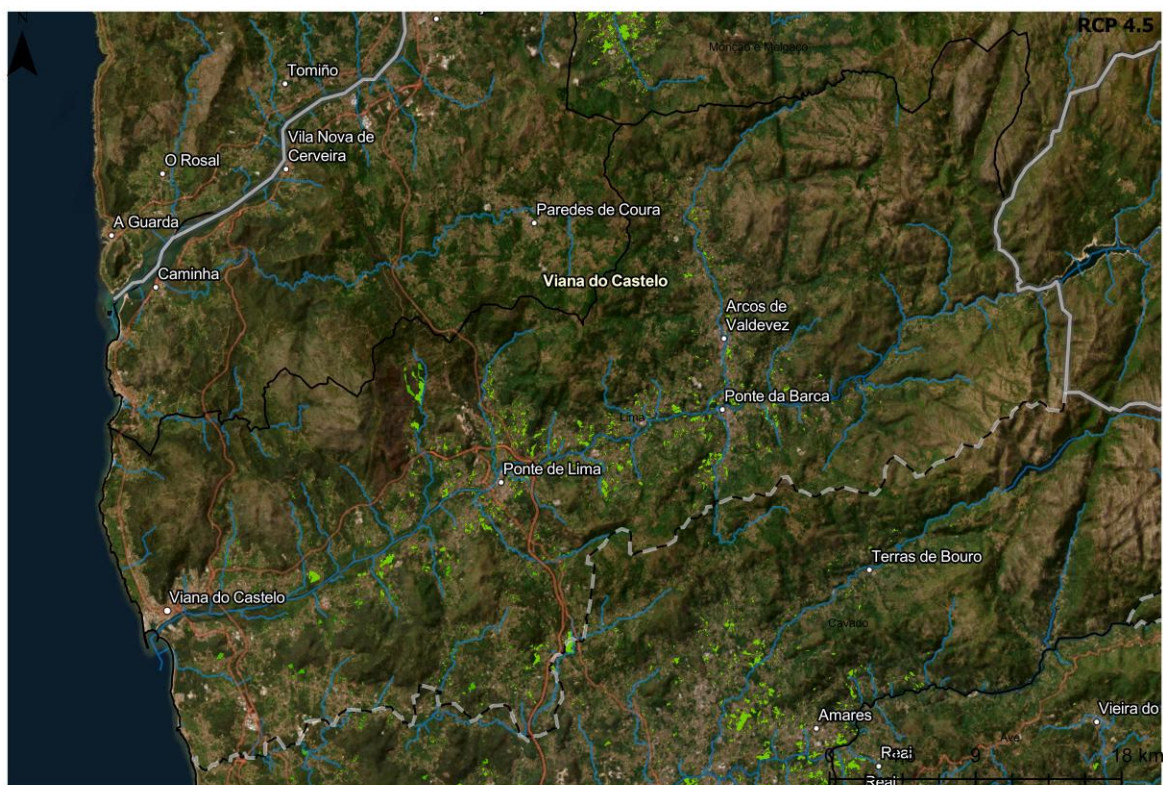


Figura A2.5. Alteração nas condições térmicas de maturação para o RCP 4.5 na sub-região de Basto.



Legenda

Sub-regiões dos Vinhos verdes Linhas de água Limites administrativos

Alteração nas condições térmicas de maturação

Sem alteração

- Leve défice térmico, ainda compatível com maturação satisfatória (ATWM (20.1-22 °C)) | Ligeiramente fresco. Preserva acidez e favorece qualidade fenólica (ATHM (18.1-20 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Leve défice térmico, ainda compatível com maturação satisfatória (ATWM (20.1-22 °C)) | Intervalo ideal. Maturação equilibrada com ligeira perda de acidez possível (ATHM (20.1-22 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Intervalo térmico ideal para a maturação equilibrada das castas regionais (ATWM (22.1-24 °C)) | Ligeiramente fresco. Preserva acidez e favorece qualidade fenólica (ATHM (18.1-20 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Intervalo térmico ideal para a maturação equilibrada das castas regionais (ATWM (22.1-24 °C)) | Intervalo ideal. Maturação equilibrada com ligeira perda de acidez possível (ATHM (20.1-22 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Intervalo térmico ideal para a maturação equilibrada das castas regionais (ATWM (22.1-24 °C)) | Temperatura ligeiramente superior ao intervalo ideal. Pode exigir antecipação da vindima (ATHM (22.1-24 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Intervalo térmico ideal para a maturação equilibrada das castas regionais (ATWM (22.1-24 °C)) | Temperatura ligeiramente superior ao intervalo ideal. Pode exigir antecipação da vindima (ATHM (22.1-24 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))
- Leve excesso térmico compromete parcialmente a frescura e complexidade aromática (ATWM (24.1-26 °C)) | Intervalo ideal. Maturação equilibrada com ligeira perda de acidez possível (ATHM (20.1-22 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Leve excesso térmico compromete parcialmente a frescura e complexidade aromática (ATWM (24.1-26 °C)) | Temperatura ligeiramente superior ao intervalo ideal. Pode exigir antecipação da vindima (ATHM (22.1-24 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Leve excesso térmico compromete parcialmente a frescura e complexidade aromática (ATWM (24.1-26 °C)) | Temperatura ligeiramente superior ao intervalo ideal. Pode exigir antecipação da vindima (ATHM (22.1-24 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))
- Leve excesso térmico compromete parcialmente a frescura e complexidade aromática (ATWM (24.1-26 °C)) | Moderadamente quente. Maturação acelerada que pode comprometer o equilíbrio álcool/acidez (ATHM (24.1-26 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))
- Leve excesso térmico compromete parcialmente a frescura e complexidade aromática (ATWM (24.1-26 °C)) | Moderadamente quente. Maturação acelerada que pode comprometer o equilíbrio álcool/acidez (ATHM (24.1-26 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Temperaturas moderadamente elevadas podem provocar desequilíbrio fenológico e perda de tipicidade (ATWM (26.1-28 °C)) | Temperatura ligeiramente superior ao intervalo ideal. Pode exigir antecipação da vindima (ATHM (22.1-24 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))
- Temperaturas moderadamente elevadas podem provocar desequilíbrio fenológico e perda de tipicidade (ATWM (26.1-28 °C)) | Temperatura ligeiramente superior ao intervalo ideal. Pode exigir antecipação da vindima (ATHM (22.1-24 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Temperaturas moderadamente elevadas podem provocar desequilíbrio fenológico e perda de tipicidade (ATWM (26.1-28 °C)) | Moderadamente quente. Maturação acelerada que pode comprometer o equilíbrio álcool/acidez (ATHM (24.1-26 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Temperaturas moderadamente elevadas podem provocar desequilíbrio fenológico e perda de tipicidade (ATWM (26.1-28 °C)) | Moderadamente quente. Maturação acelerada que pode comprometer o equilíbrio álcool/acidez (ATHM (24.1-26 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))
- Temperaturas moderadamente elevadas podem provocar desequilíbrio fenológico e perda de tipicidade (ATWM (26.1-28 °C)) | Quente. Sobrematuração provável e risco de perda de frescura (ATHM (26.1-28 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))
- Temperaturas elevadas induzem sobrematuração, exigindo vindima antecipada (ATWM (28.1-30 °C)) | Quente. Sobrematuração provável e risco de perda de frescura (ATHM (26.1-28 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))

Figura A2.6. Alteração nas condições térmicas de maturação para o RCP 4.5 na sub-região do Lima.

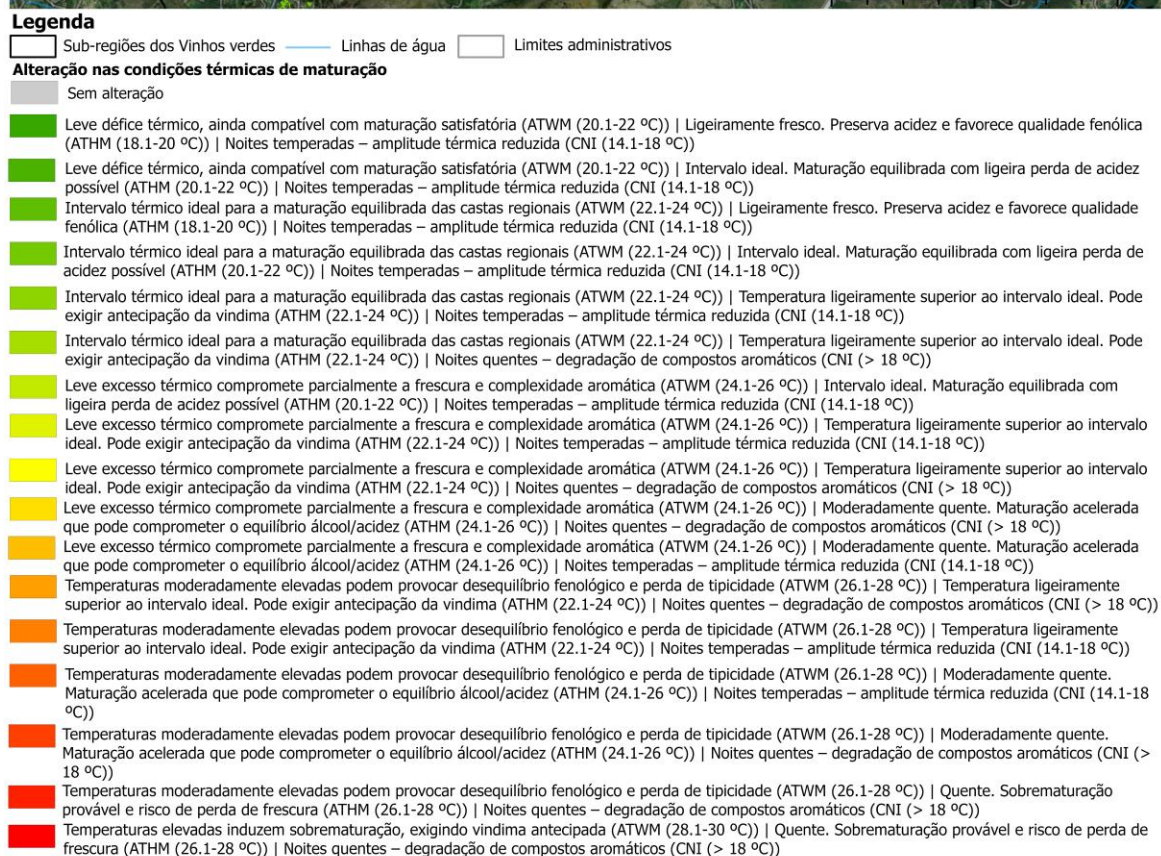
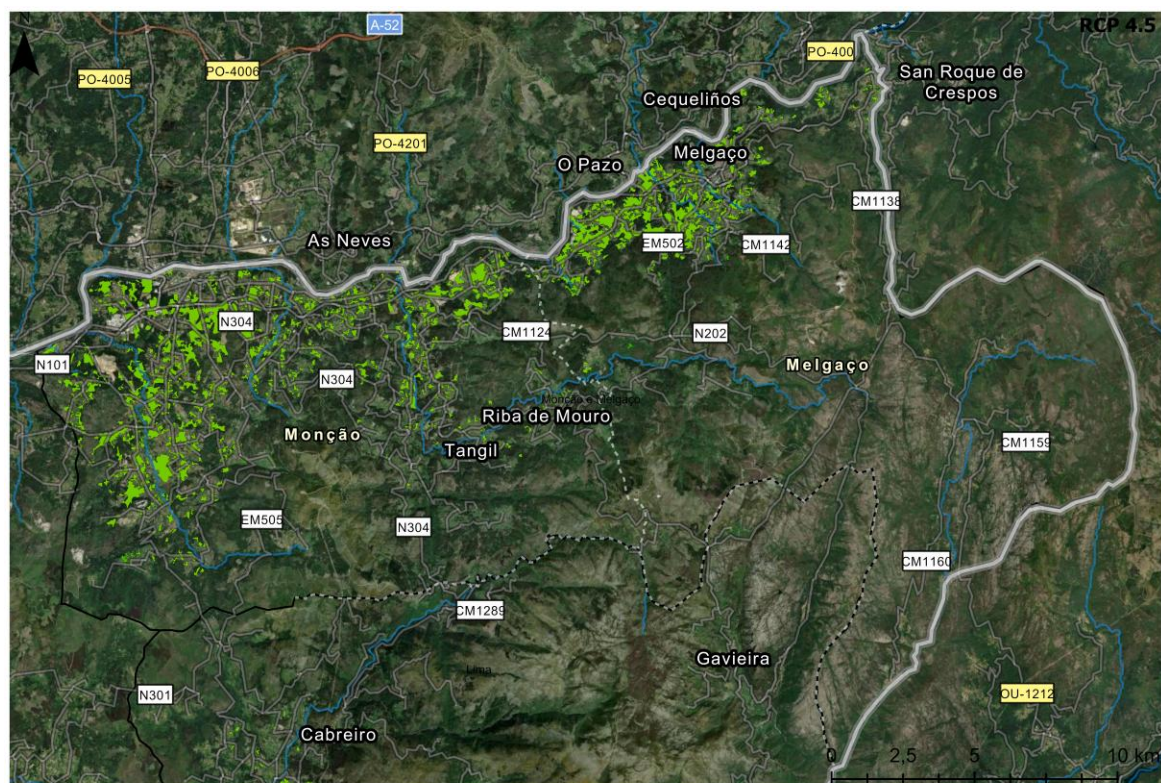
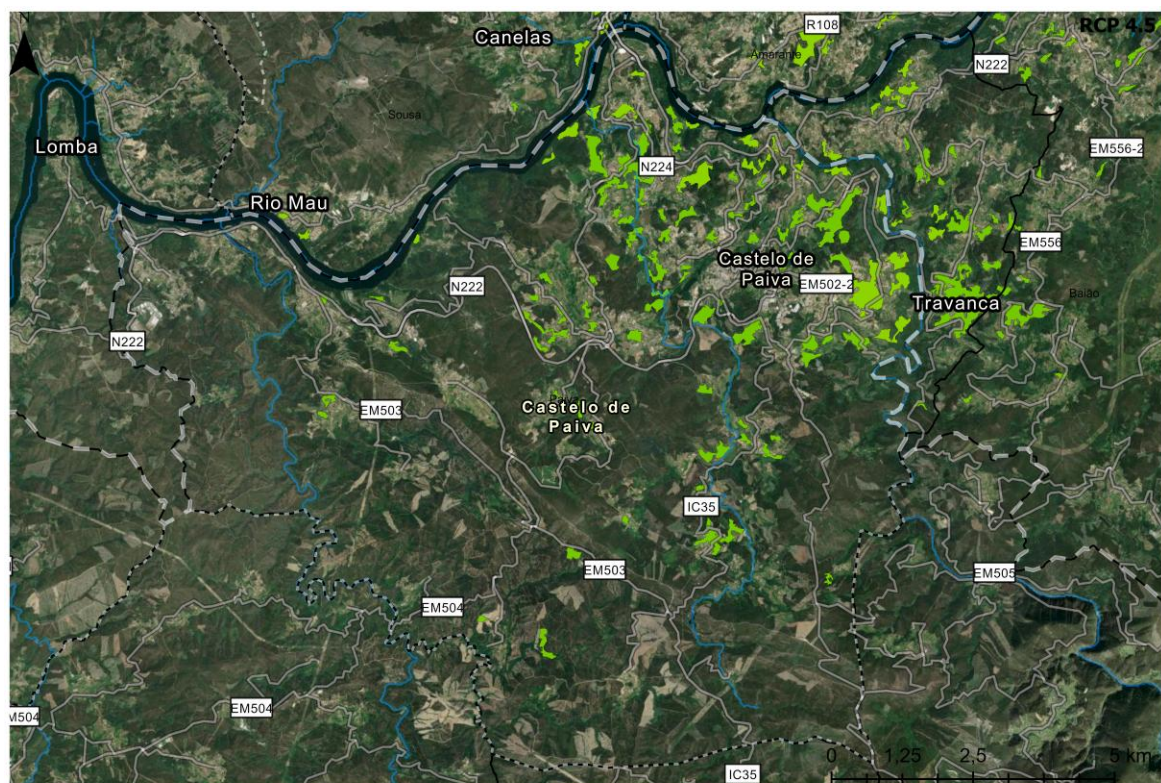


Figura A2.7. Alteração nas condições térmicas de maturação para o RCP 4.5 na sub-região de Monção e Melgaço.



Legenda

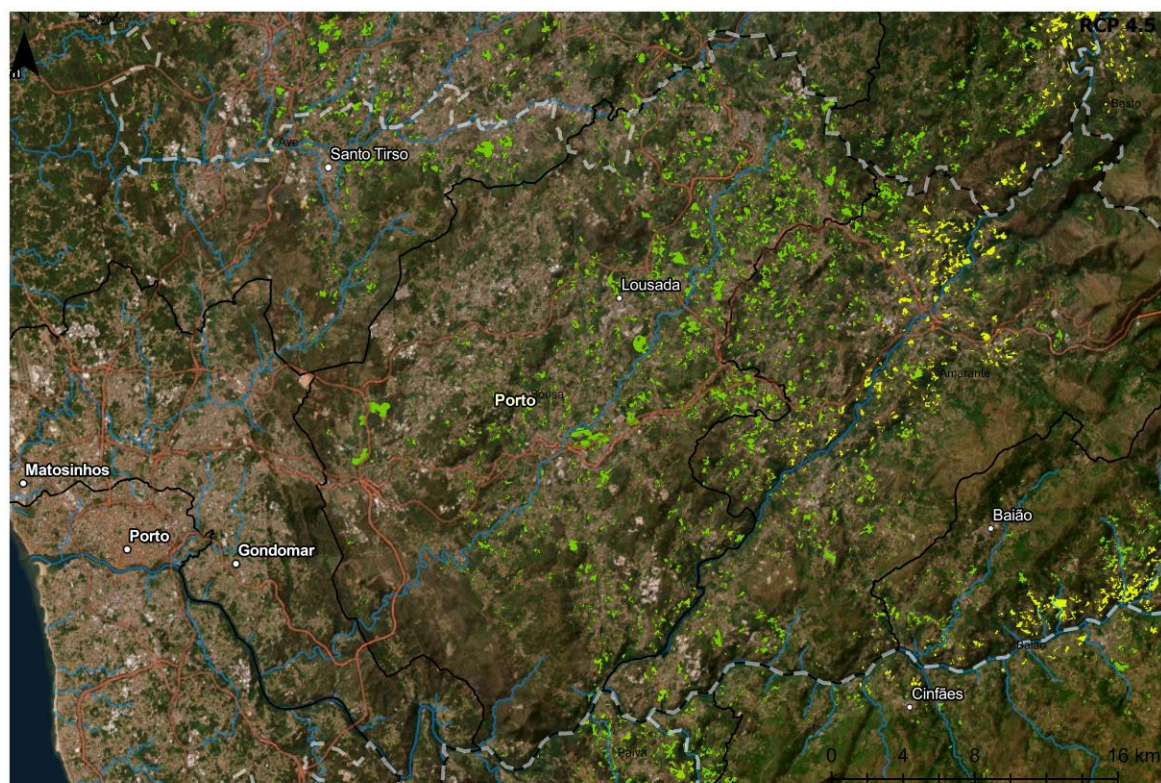
Sub-regiões dos Vinhos verdes Linhas de água Limites administrativos

Alteração nas condições térmicas de maturação

Sem alteração

- Leve défice térmico, ainda compatível com maturação satisfatória (ATWM (20.1-22 °C)) | Ligeiramente fresco. Preserva acidez e favorece qualidade fenólica (ATHM (18.1-20 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Leve défice térmico, ainda compatível com maturação satisfatória (ATWM (20.1-22 °C)) | Intervalo ideal. Maturação equilibrada com ligeira perda de acidez possível (ATHM (20.1-22 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Intervalo térmico ideal para a maturação equilibrada das castas regionais (ATWM (22.1-24 °C)) | Ligeiramente fresco. Preserva acidez e favorece qualidade fenólica (ATHM (18.1-20 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Intervalo térmico ideal para a maturação equilibrada das castas regionais (ATWM (22.1-24 °C)) | Intervalo ideal. Maturação equilibrada com ligeira perda de acidez possível (ATHM (20.1-22 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Intervalo térmico ideal para a maturação equilibrada das castas regionais (ATWM (22.1-24 °C)) | Temperatura ligeiramente superior ao intervalo ideal. Pode exigir antecipação da vindima (ATHM (22.1-24 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Intervalo térmico ideal para a maturação equilibrada das castas regionais (ATWM (22.1-24 °C)) | Temperatura ligeiramente superior ao intervalo ideal. Pode exigir antecipação da vindima (ATHM (22.1-24 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))
- Leve excesso térmico compromete parcialmente a frescura e complexidade aromática (ATWM (24.1-26 °C)) | Intervalo ideal. Maturação equilibrada com ligeira perda de acidez possível (ATHM (20.1-22 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Leve excesso térmico compromete parcialmente a frescura e complexidade aromática (ATWM (24.1-26 °C)) | Temperatura ligeiramente superior ao intervalo ideal. Pode exigir antecipação da vindima (ATHM (22.1-24 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Leve excesso térmico compromete parcialmente a frescura e complexidade aromática (ATWM (24.1-26 °C)) | Temperatura ligeiramente superior ao intervalo ideal. Pode exigir antecipação da vindima (ATHM (22.1-24 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))
- Leve excesso térmico compromete parcialmente a frescura e complexidade aromática (ATWM (24.1-26 °C)) | Moderadamente quente. Maturação acelerada que pode comprometer o equilíbrio álcool/acidez (ATHM (24.1-26 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))
- Leve excesso térmico compromete parcialmente a frescura e complexidade aromática (ATWM (24.1-26 °C)) | Moderadamente quente. Maturação acelerada que pode comprometer o equilíbrio álcool/acidez (ATHM (24.1-26 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Temperaturas moderadamente elevadas podem provocar desequilíbrio fenológico e perda de tipicidade (ATWM (26.1-28 °C)) | Temperatura ligeiramente superior ao intervalo ideal. Pode exigir antecipação da vindima (ATHM (22.1-24 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))
- Temperaturas moderadamente elevadas podem provocar desequilíbrio fenológico e perda de tipicidade (ATWM (26.1-28 °C)) | Temperatura ligeiramente superior ao intervalo ideal. Pode exigir antecipação da vindima (ATHM (22.1-24 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Temperaturas moderadamente elevadas podem provocar desequilíbrio fenológico e perda de tipicidade (ATWM (26.1-28 °C)) | Moderadamente quente. Maturação acelerada que pode comprometer o equilíbrio álcool/acidez (ATHM (24.1-26 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))
- Temperaturas moderadamente elevadas podem provocar desequilíbrio fenológico e perda de tipicidade (ATWM (26.1-28 °C)) | Moderadamente quente. Maturação acelerada que pode comprometer o equilíbrio álcool/acidez (ATHM (24.1-26 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))
- Temperaturas moderadamente elevadas podem provocar desequilíbrio fenológico e perda de tipicidade (ATWM (26.1-28 °C)) | Quente. Sobrematuração provável e risco de perda de frescura (ATHM (26.1-28 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))
- Temperaturas elevadas induzem sobrematuração, exigindo vindima antecipada (ATWM (28.1-30 °C)) | Quente. Sobrematuração provável e risco de perda de frescura (ATHM (26.1-28 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))

Figura A2.8. Alteração nas condições térmicas de maturação para o RCP 4.5 na sub-região do Paiva.



Legenda

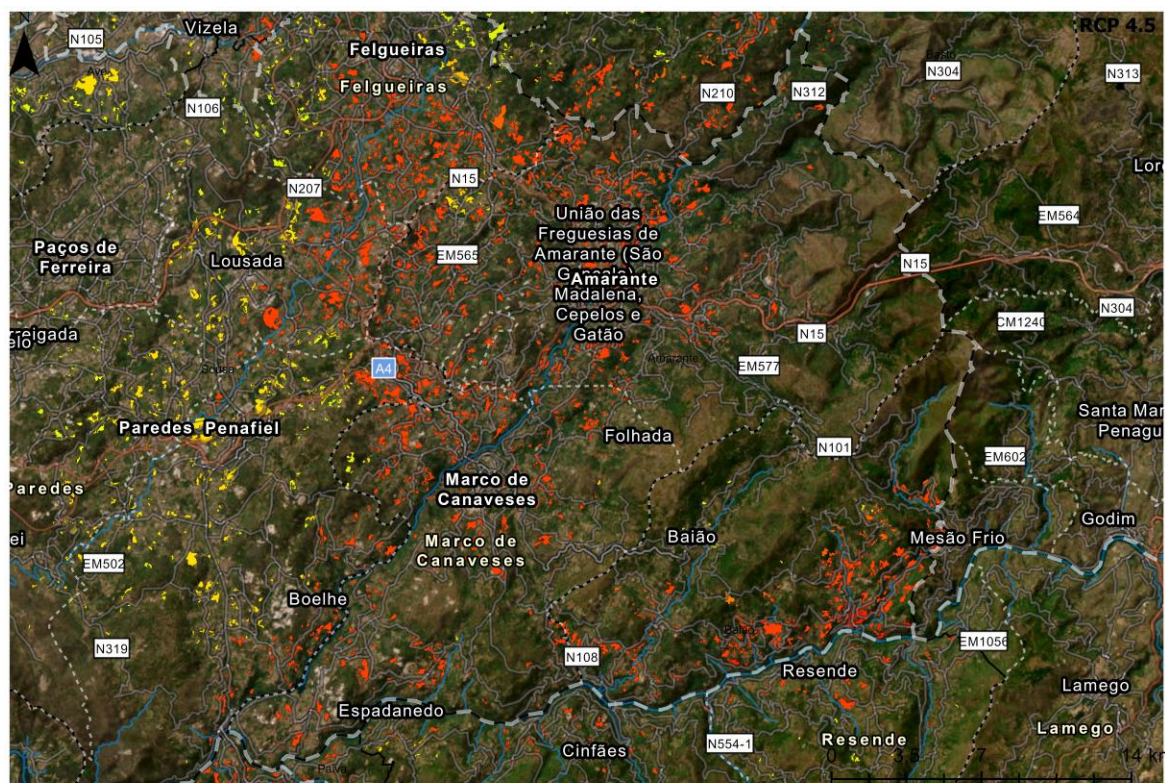
Sub-regiões dos Vinhos verdes Linhas de água Limites administrativos

Alteração nas condições térmicas de maturação

Sem alteração

- Leve défice térmico, ainda compatível com maturação satisfatória (ATWM (20.1-22 °C)) | Ligeiramente fresco. Preserva acidez e favorece qualidade fenólica (ATHM (18.1-20 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Leve défice térmico, ainda compatível com maturação satisfatória (ATWM (20.1-22 °C)) | Intervalo ideal. Maturação equilibrada com ligeira perda de acidez possível (ATHM (20.1-22 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Intervalo térmico ideal para a maturação equilibrada das castas regionais (ATWM (22.1-24 °C)) | Ligeiramente fresco. Preserva acidez e favorece qualidade fenólica (ATHM (18.1-20 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Intervalo térmico ideal para a maturação equilibrada das castas regionais (ATWM (22.1-24 °C)) | Intervalo ideal. Maturação equilibrada com ligeira perda de acidez possível (ATHM (20.1-22 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Intervalo térmico ideal para a maturação equilibrada das castas regionais (ATWM (22.1-24 °C)) | Temperatura ligeiramente superior ao intervalo ideal. Pode exigir antecipação da vindima (ATHM (22.1-24 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Intervalo térmico ideal para a maturação equilibrada das castas regionais (ATWM (22.1-24 °C)) | Temperatura ligeiramente superior ao intervalo ideal. Pode exigir antecipação da vindima (ATHM (22.1-24 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))
- Leve excesso térmico compromete parcialmente a frescura e complexidade aromática (ATWM (24.1-26 °C)) | Intervalo ideal. Maturação equilibrada com ligeira perda de acidez possível (ATHM (20.1-22 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Leve excesso térmico compromete parcialmente a frescura e complexidade aromática (ATWM (24.1-26 °C)) | Temperatura ligeiramente superior ao intervalo ideal. Pode exigir antecipação da vindima (ATHM (22.1-24 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Leve excesso térmico compromete parcialmente a frescura e complexidade aromática (ATWM (24.1-26 °C)) | Temperatura ligeiramente superior ao intervalo ideal. Pode exigir antecipação da vindima (ATHM (22.1-24 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))
- Leve excesso térmico compromete parcialmente a frescura e complexidade aromática (ATWM (24.1-26 °C)) | Moderadamente quente. Maturação acelerada que pode comprometer o equilíbrio álcool/acidez (ATHM (24.1-26 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))
- Leve excesso térmico compromete parcialmente a frescura e complexidade aromática (ATWM (24.1-26 °C)) | Moderadamente quente. Maturação acelerada que pode comprometer o equilíbrio álcool/acidez (ATHM (24.1-26 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Temperaturas moderadamente elevadas podem provocar desequilíbrio fenológico e perda de tipicidade (ATWM (26.1-28 °C)) | Temperatura ligeiramente superior ao intervalo ideal. Pode exigir antecipação da vindima (ATHM (22.1-24 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))
- Temperaturas moderadamente elevadas podem provocar desequilíbrio fenológico e perda de tipicidade (ATWM (26.1-28 °C)) | Temperatura ligeiramente superior ao intervalo ideal. Pode exigir antecipação da vindima (ATHM (22.1-24 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Temperaturas moderadamente elevadas podem provocar desequilíbrio fenológico e perda de tipicidade (ATWM (26.1-28 °C)) | Moderadamente quente. Maturação acelerada que pode comprometer o equilíbrio álcool/acidez (ATHM (24.1-26 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Temperaturas moderadamente elevadas podem provocar desequilíbrio fenológico e perda de tipicidade (ATWM (26.1-28 °C)) | Moderadamente quente. Maturação acelerada que pode comprometer o equilíbrio álcool/acidez (ATHM (24.1-26 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))
- Temperaturas moderadamente elevadas podem provocar desequilíbrio fenológico e perda de tipicidade (ATWM (26.1-28 °C)) | Quente. Sobrematuração provável e risco de perda de frescura (ATHM (26.1-28 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))
- Temperaturas elevadas induzem sobrematuração, exigindo vindima antecipada (ATWM (28.1-30 °C)) | Quente. Sobrematuração provável e risco de perda de frescura (ATHM (26.1-28 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))

Figura A2.9. Alteração nas condições térmicas de maturação para o RCP 4.5 na sub-região do Sousa.



Legenda

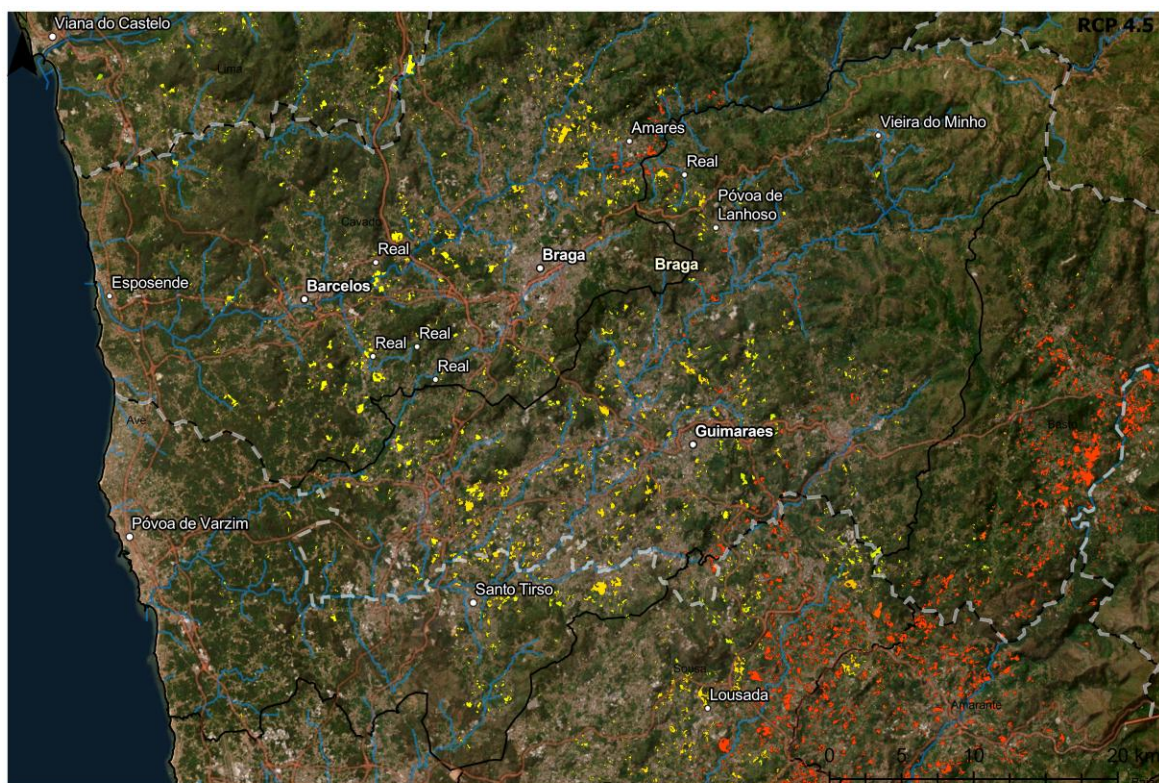
Sub-regiões dos Vinhos verdes Linhas de água Limites administrativos

Alteração nas condições térmicas de maturação

Sem alteração

- Leve défice térmico, ainda compatível com maturação satisfatória (ATWM (20.1-22 °C)) | Ligeiramente fresco. Preserva acidez e favorece qualidade fenólica (ATHM (18.1-20 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Leve défice térmico, ainda compatível com maturação satisfatória (ATWM (20.1-22 °C)) | Intervalo ideal. Maturação equilibrada com ligeira perda de acidez possível (ATHM (20.1-22 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Intervalo térmico ideal para a maturação equilibrada das castas regionais (ATWM (22.1-24 °C)) | Ligeiramente fresco. Preserva acidez e favorece qualidade fenólica (ATHM (18.1-20 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Intervalo térmico ideal para a maturação equilibrada das castas regionais (ATWM (22.1-24 °C)) | Intervalo ideal. Maturação equilibrada com ligeira perda de acidez possível (ATHM (20.1-22 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Intervalo térmico ideal para a maturação equilibrada das castas regionais (ATWM (22.1-24 °C)) | Temperatura ligeiramente superior ao intervalo ideal. Pode exigir antecipação da vindima (ATHM (22.1-24 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Intervalo térmico ideal para a maturação equilibrada das castas regionais (ATWM (22.1-24 °C)) | Temperatura ligeiramente superior ao intervalo ideal. Pode exigir antecipação da vindima (ATHM (22.1-24 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))
- Leve excesso térmico compromete parcialmente a frescura e complexidade aromática (ATWM (24.1-26 °C)) | Intervalo ideal. Maturação equilibrada com ligeira perda de acidez possível (ATHM (20.1-22 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Leve excesso térmico compromete parcialmente a frescura e complexidade aromática (ATWM (24.1-26 °C)) | Temperatura ligeiramente superior ao intervalo ideal. Pode exigir antecipação da vindima (ATHM (22.1-24 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Leve excesso térmico compromete parcialmente a frescura e complexidade aromática (ATWM (24.1-26 °C)) | Temperatura ligeiramente superior ao intervalo ideal. Pode exigir antecipação da vindima (ATHM (22.1-24 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))
- Leve excesso térmico compromete parcialmente a frescura e complexidade aromática (ATWM (24.1-26 °C)) | Moderadamente quente. Maturação acelerada que pode comprometer o equilíbrio álcool/acidez (ATHM (24.1-26 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))
- Leve excesso térmico compromete parcialmente a frescura e complexidade aromática (ATWM (24.1-26 °C)) | Moderadamente quente. Maturação acelerada que pode comprometer o equilíbrio álcool/acidez (ATHM (24.1-26 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Temperaturas moderadamente elevadas podem provocar desequilíbrio fenológico e perda de tipicidade (ATWM (26.1-28 °C)) | Temperatura ligeiramente superior ao intervalo ideal. Pode exigir antecipação da vindima (ATHM (22.1-24 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))
- Temperaturas moderadamente elevadas podem provocar desequilíbrio fenológico e perda de tipicidade (ATWM (26.1-28 °C)) | Temperatura ligeiramente superior ao intervalo ideal. Pode exigir antecipação da vindima (ATHM (22.1-24 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Temperaturas moderadamente elevadas podem provocar desequilíbrio fenológico e perda de tipicidade (ATWM (26.1-28 °C)) | Moderadamente quente. Maturação acelerada que pode comprometer o equilíbrio álcool/acidez (ATHM (24.1-26 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Temperaturas moderadamente elevadas podem provocar desequilíbrio fenológico e perda de tipicidade (ATWM (26.1-28 °C)) | Moderadamente quente. Maturação acelerada que pode comprometer o equilíbrio álcool/acidez (ATHM (24.1-26 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))
- Temperaturas moderadamente elevadas podem provocar desequilíbrio fenológico e perda de tipicidade (ATWM (26.1-28 °C)) | Quente. Sobrematuração provável e risco de perda de frescura (ATHM (26.1-28 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))
- Temperaturas elevadas induzem sobrematuração, exigindo vindima antecipada (ATWM (28.1-30 °C)) | Quente. Sobrematuração provável e risco de perda de frescura (ATHM (26.1-28 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))

Figura A2.10. Alteração nas condições térmicas de maturação para o RCP 8.5 na sub-região de Amarante.



Legenda

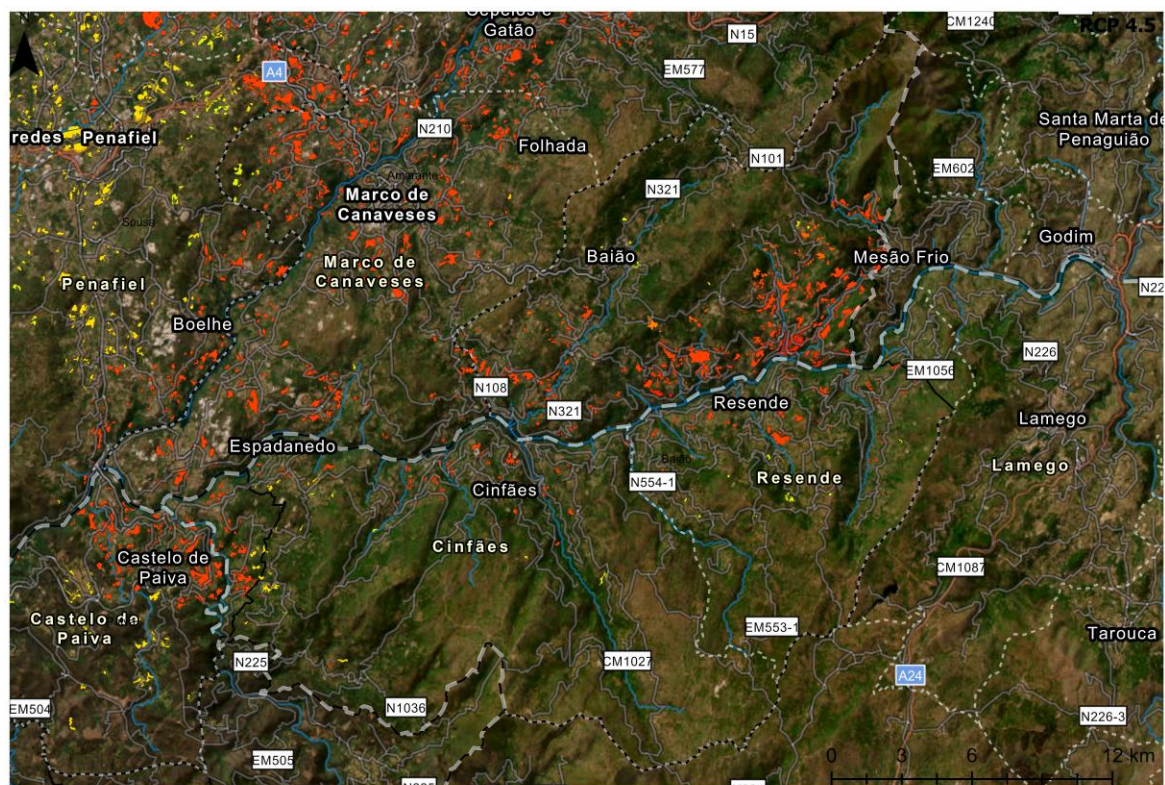
Sub-regiões dos Vinhos verdes Linhas de água Limites administrativos

Alteração nas condições térmicas de maturação

Sem alteração

- Leve déficit térmico, ainda compatível com maturação satisfatória (ATWM (20.1-22 °C)) | Ligeiramente fresco. Preserva acidez e favorece qualidade fenólica (ATHM (18.1-20 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Leve déficit térmico, ainda compatível com maturação satisfatória (ATWM (20.1-22 °C)) | Intervalo ideal. Maturação equilibrada com ligeira perda de acidez possível (ATHM (20.1-22 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Intervalo térmico ideal para a maturação equilibrada das castas regionais (ATWM (22.1-24 °C)) | Ligeiramente fresco. Preserva acidez e favorece qualidade fenólica (ATHM (18.1-20 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Intervalo térmico ideal para a maturação equilibrada das castas regionais (ATWM (22.1-24 °C)) | Intervalo ideal. Maturação equilibrada com ligeira perda de acidez possível (ATHM (20.1-22 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Intervalo térmico ideal para a maturação equilibrada das castas regionais (ATWM (22.1-24 °C)) | Temperatura ligeiramente superior ao intervalo ideal. Pode exigir antecipação da vindima (ATHM (22.1-24 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Intervalo térmico ideal para a maturação equilibrada das castas regionais (ATWM (22.1-24 °C)) | Temperatura ligeiramente superior ao intervalo ideal. Pode exigir antecipação da vindima (ATHM (22.1-24 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))
- Leve excesso térmico compromete parcialmente a frescura e complexidade aromática (ATWM (24.1-26 °C)) | Intervalo ideal. Maturação equilibrada com ligeira perda de acidez possível (ATHM (20.1-22 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Leve excesso térmico compromete parcialmente a frescura e complexidade aromática (ATWM (24.1-26 °C)) | Temperatura ligeiramente superior ao intervalo ideal. Pode exigir antecipação da vindima (ATHM (22.1-24 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Leve excesso térmico compromete parcialmente a frescura e complexidade aromática (ATWM (24.1-26 °C)) | Temperatura ligeiramente superior ao intervalo ideal. Pode exigir antecipação da vindima (ATHM (22.1-24 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))
- Leve excesso térmico compromete parcialmente a frescura e complexidade aromática (ATWM (24.1-26 °C)) | Moderadamente quente. Maturação acelerada que pode comprometer o equilíbrio álcool/acidez (ATHM (24.1-26 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))
- Leve excesso térmico compromete parcialmente a frescura e complexidade aromática (ATWM (24.1-26 °C)) | Moderadamente quente. Maturação acelerada que pode comprometer o equilíbrio álcool/acidez (ATHM (24.1-26 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Temperaturas moderadamente elevadas podem provocar desequilíbrio fenológico e perda de tipicidade (ATWM (26.1-28 °C)) | Temperatura ligeiramente superior ao intervalo ideal. Pode exigir antecipação da vindima (ATHM (22.1-24 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))
- Temperaturas moderadamente elevadas podem provocar desequilíbrio fenológico e perda de tipicidade (ATWM (26.1-28 °C)) | Temperatura ligeiramente superior ao intervalo ideal. Pode exigir antecipação da vindima (ATHM (22.1-24 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Temperaturas moderadamente elevadas podem provocar desequilíbrio fenológico e perda de tipicidade (ATWM (26.1-28 °C)) | Moderadamente quente. Maturação acelerada que pode comprometer o equilíbrio álcool/acidez (ATHM (24.1-26 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Temperaturas moderadamente elevadas podem provocar desequilíbrio fenológico e perda de tipicidade (ATWM (26.1-28 °C)) | Moderadamente quente. Maturação acelerada que pode comprometer o equilíbrio álcool/acidez (ATHM (24.1-26 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))
- Temperaturas moderadamente elevadas podem provocar desequilíbrio fenológico e perda de tipicidade (ATWM (26.1-28 °C)) | Quente. Sobrematuração provável e risco de perda de frescura (ATHM (26.1-28 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))
- Temperaturas elevadas induzem sobrematuração, exigindo vindima antecipada (ATWM (28.1-30 °C)) | Quente. Sobrematuração provável e risco de perda de frescura (ATHM (26.1-28 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))

Figura A2.11. Alteração nas condições térmicas de maturação para o RCP 8.5 na sub-região do Ave.



Legenda

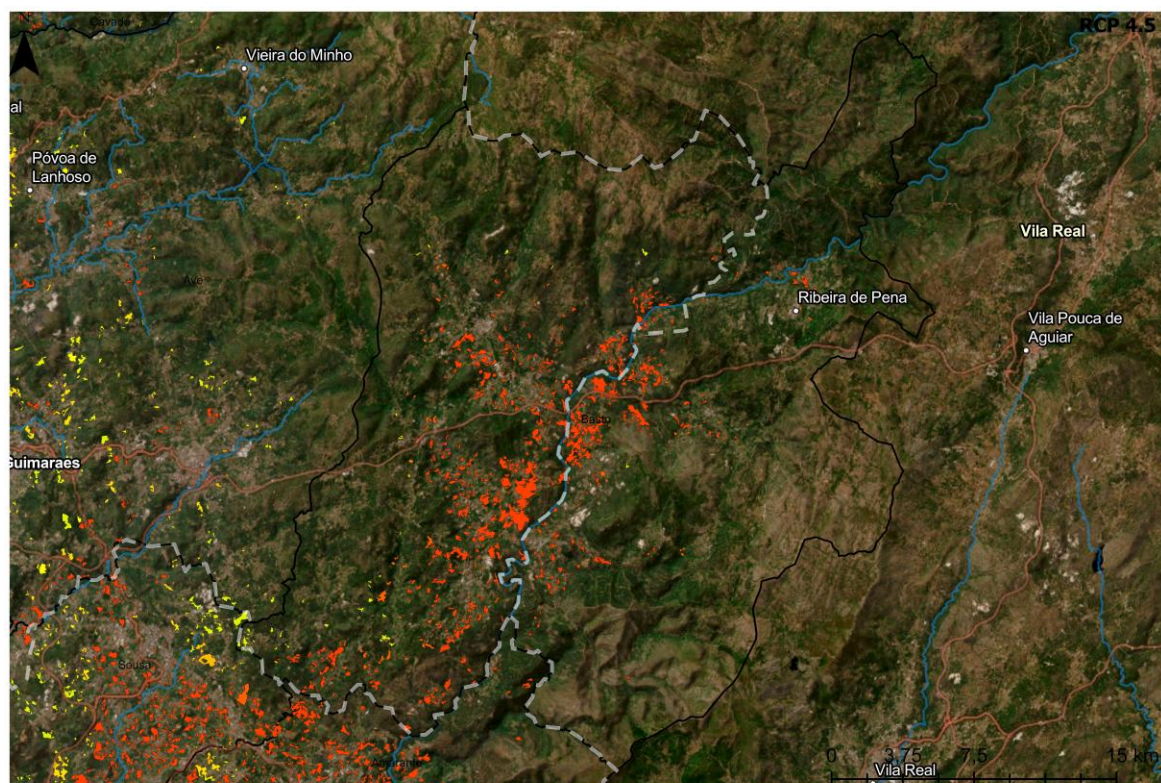
Sub-regiões dos Vinhos verdes Linhas de água Limites administrativos

Alteração nas condições térmicas de maturação

Sem alteração

- Leve défice térmico, ainda compatível com maturação satisfatória (ATWM (20.1-22 °C)) | Ligeiramente fresco. Preserva acidez e favorece qualidade fenólica (ATHM (18.1-20 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Leve défice térmico, ainda compatível com maturação satisfatória (ATWM (20.1-22 °C)) | Intervalo ideal. Maturação equilibrada com ligeira perda de acidez possível (ATHM (20.1-22 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Intervalo térmico ideal para a maturação equilibrada das castas regionais (ATWM (22.1-24 °C)) | Ligeiramente fresco. Preserva acidez e favorece qualidade fenólica (ATHM (18.1-20 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Intervalo térmico ideal para a maturação equilibrada das castas regionais (ATWM (22.1-24 °C)) | Intervalo ideal. Maturação equilibrada com ligeira perda de acidez possível (ATHM (20.1-22 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Intervalo térmico ideal para a maturação equilibrada das castas regionais (ATWM (22.1-24 °C)) | Temperatura ligeiramente superior ao intervalo ideal. Pode exigir antecipação da vindima (ATHM (22.1-24 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Intervalo térmico ideal para a maturação equilibrada das castas regionais (ATWM (22.1-24 °C)) | Temperatura ligeiramente superior ao intervalo ideal. Pode exigir antecipação da vindima (ATHM (22.1-24 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))
- Leve excesso térmico compromete parcialmente a frescura e complexidade aromática (ATWM (24.1-26 °C)) | Intervalo ideal. Maturação equilibrada com ligeira perda de acidez possível (ATHM (20.1-22 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Leve excesso térmico compromete parcialmente a frescura e complexidade aromática (ATWM (24.1-26 °C)) | Temperatura ligeiramente superior ao intervalo ideal. Pode exigir antecipação da vindima (ATHM (22.1-24 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Leve excesso térmico compromete parcialmente a frescura e complexidade aromática (ATWM (24.1-26 °C)) | Temperatura ligeiramente superior ao intervalo ideal. Pode exigir antecipação da vindima (ATHM (22.1-24 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))
- Leve excesso térmico compromete parcialmente a frescura e complexidade aromática (ATWM (24.1-26 °C)) | Moderadamente quente. Maturação acelerada que pode comprometer o equilíbrio álcool/acidez (ATHM (24.1-26 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))
- Leve excesso térmico compromete parcialmente a frescura e complexidade aromática (ATWM (24.1-26 °C)) | Moderadamente quente. Maturação acelerada que pode comprometer o equilíbrio álcool/acidez (ATHM (24.1-26 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Temperaturas moderadamente elevadas podem provocar desequilíbrio fenológico e perda de tipicidade (ATWM (26.1-28 °C)) | Temperatura ligeiramente superior ao intervalo ideal. Pode exigir antecipação da vindima (ATHM (22.1-24 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))
- Temperaturas moderadamente elevadas podem provocar desequilíbrio fenológico e perda de tipicidade (ATWM (26.1-28 °C)) | Temperatura ligeiramente superior ao intervalo ideal. Pode exigir antecipação da vindima (ATHM (22.1-24 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Temperaturas moderadamente elevadas podem provocar desequilíbrio fenológico e perda de tipicidade (ATWM (26.1-28 °C)) | Moderadamente quente. Maturação acelerada que pode comprometer o equilíbrio álcool/acidez (ATHM (24.1-26 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Temperaturas moderadamente elevadas podem provocar desequilíbrio fenológico e perda de tipicidade (ATWM (26.1-28 °C)) | Moderadamente quente. Maturação acelerada que pode comprometer o equilíbrio álcool/acidez (ATHM (24.1-26 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))
- Temperaturas moderadamente elevadas podem provocar desequilíbrio fenológico e perda de tipicidade (ATWM (26.1-28 °C)) | Quente. Sobrematuração provável e risco de perda de frescura (ATHM (26.1-28 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))
- Temperaturas elevadas induzem sobrematuração, exigindo vindima antecipada (ATWM (28.1-30 °C)) | Quente. Sobrematuração provável e risco de perda de frescura (ATHM (26.1-28 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))

Figura A2.12. Alteração nas condições térmicas de maturação para o RCP 8.5 na sub-região de Baião.



Legenda

Sub-regiões dos Vinhos verdes Linhas de água Limites administrativos

Alteração nas condições térmicas de maturação

Sem alteração

- Leve défice térmico, ainda compatível com maturação satisfatória (ATWM (20.1-22 °C)) | Ligeiramente fresco. Preserva acidez e favorece qualidade fenólica (ATHM (18.1-20 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Leve défice térmico, ainda compatível com maturação satisfatória (ATWM (20.1-22 °C)) | Intervalo ideal. Maturação equilibrada com ligeira perda de acidez possível (ATHM (20.1-22 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Intervalo térmico ideal para a maturação equilibrada das castas regionais (ATWM (22.1-24 °C)) | Ligeiramente fresco. Preserva acidez e favorece qualidade fenólica (ATHM (18.1-20 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Intervalo térmico ideal para a maturação equilibrada das castas regionais (ATWM (22.1-24 °C)) | Intervalo ideal. Maturação equilibrada com ligeira perda de acidez possível (ATHM (20.1-22 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Intervalo térmico ideal para a maturação equilibrada das castas regionais (ATWM (22.1-24 °C)) | Temperatura ligeiramente superior ao intervalo ideal. Pode exigir antecipação da vindima (ATHM (22.1-24 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Intervalo térmico ideal para a maturação equilibrada das castas regionais (ATWM (22.1-24 °C)) | Temperatura ligeiramente superior ao intervalo ideal. Pode exigir antecipação da vindima (ATHM (22.1-24 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))
- Leve excesso térmico compromete parcialmente a frescura e complexidade aromática (ATWM (24.1-26 °C)) | Intervalo ideal. Maturação equilibrada com ligeira perda de acidez possível (ATHM (20.1-22 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Leve excesso térmico compromete parcialmente a frescura e complexidade aromática (ATWM (24.1-26 °C)) | Temperatura ligeiramente superior ao intervalo ideal. Pode exigir antecipação da vindima (ATHM (22.1-24 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Leve excesso térmico compromete parcialmente a frescura e complexidade aromática (ATWM (24.1-26 °C)) | Temperatura ligeiramente superior ao intervalo ideal. Pode exigir antecipação da vindima (ATHM (22.1-24 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))
- Leve excesso térmico compromete parcialmente a frescura e complexidade aromática (ATWM (24.1-26 °C)) | Moderadamente quente. Maturação acelerada que pode comprometer o equilíbrio álcool/acidez (ATHM (24.1-26 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))
- Leve excesso térmico compromete parcialmente a frescura e complexidade aromática (ATWM (24.1-26 °C)) | Moderadamente quente. Maturação acelerada que pode comprometer o equilíbrio álcool/acidez (ATHM (24.1-26 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Temperaturas moderadamente elevadas podem provocar desequilíbrio fenológico e perda de tipicidade (ATWM (26.1-28 °C)) | Temperatura ligeiramente superior ao intervalo ideal. Pode exigir antecipação da vindima (ATHM (22.1-24 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))
- Temperaturas moderadamente elevadas podem provocar desequilíbrio fenológico e perda de tipicidade (ATWM (26.1-28 °C)) | Temperatura ligeiramente superior ao intervalo ideal. Pode exigir antecipação da vindima (ATHM (22.1-24 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Temperaturas moderadamente elevadas podem provocar desequilíbrio fenológico e perda de tipicidade (ATWM (26.1-28 °C)) | Moderadamente quente. Maturação acelerada que pode comprometer o equilíbrio álcool/acidez (ATHM (24.1-26 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Temperaturas moderadamente elevadas podem provocar desequilíbrio fenológico e perda de tipicidade (ATWM (26.1-28 °C)) | Moderadamente quente. Maturação acelerada que pode comprometer o equilíbrio álcool/acidez (ATHM (24.1-26 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))
- Temperaturas moderadamente elevadas podem provocar desequilíbrio fenológico e perda de tipicidade (ATWM (26.1-28 °C)) | Quente. Sobrematuração provável e risco de perda de frescura (ATHM (26.1-28 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))
- Temperaturas elevadas induzem sobrematuração, exigindo vindima antecipada (ATWM (28.1-30 °C)) | Quente. Sobrematuração provável e risco de perda de frescura (ATHM (26.1-28 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))

Figura A2.13. Alteração nas condições térmicas de maturação para o RCP 8.5 na sub-região do Basto.

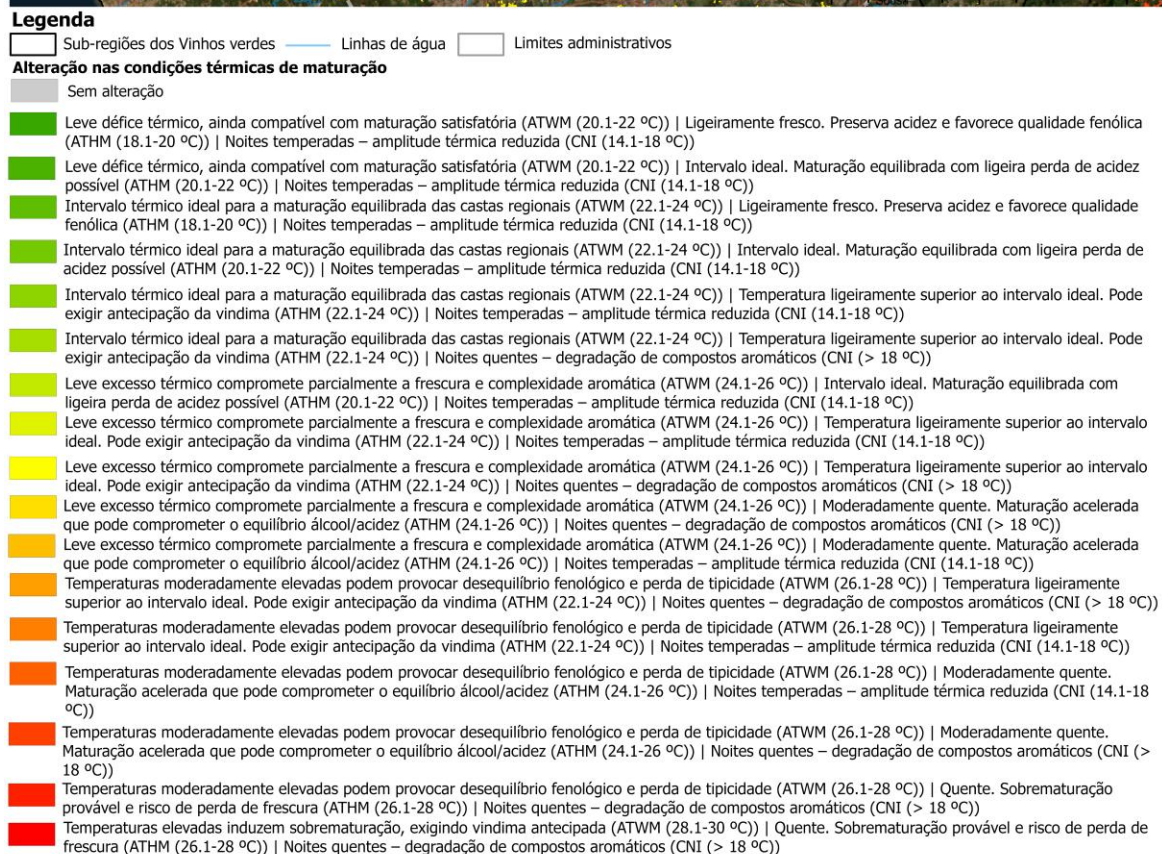
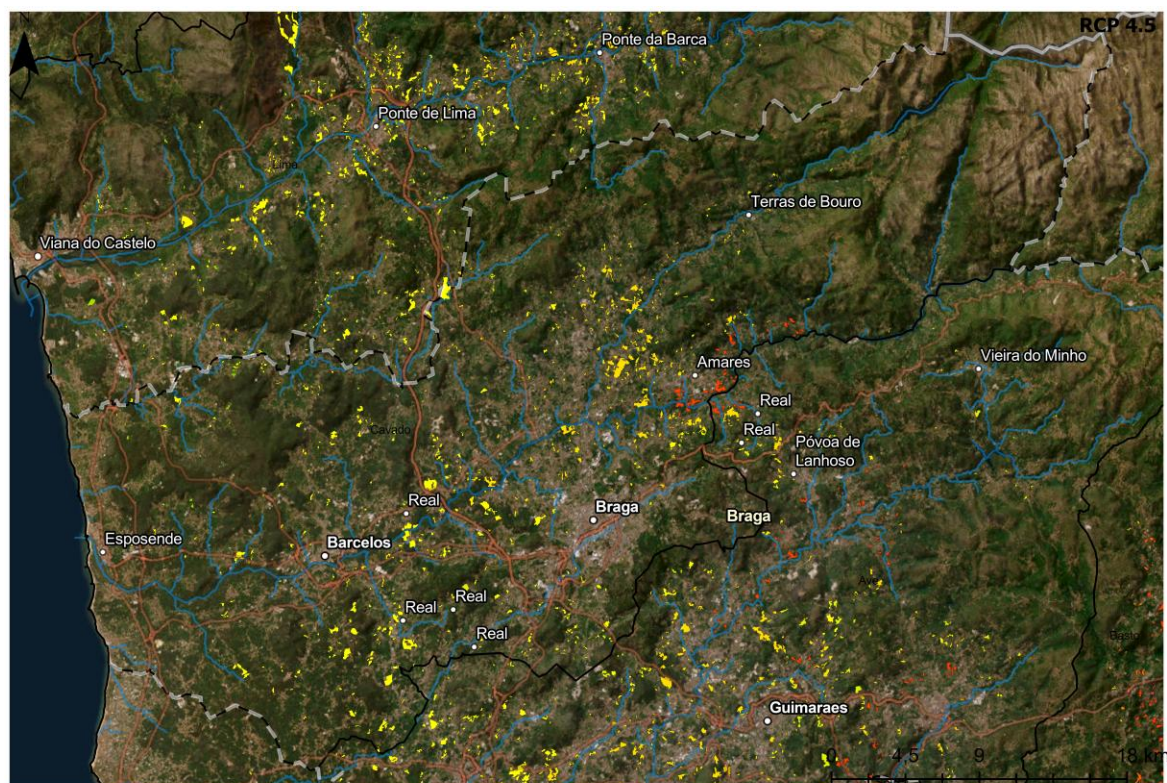


Figura A2.14. Alteração nas condições térmicas de maturação para o RCP 8.5 na sub-região do Cávado.

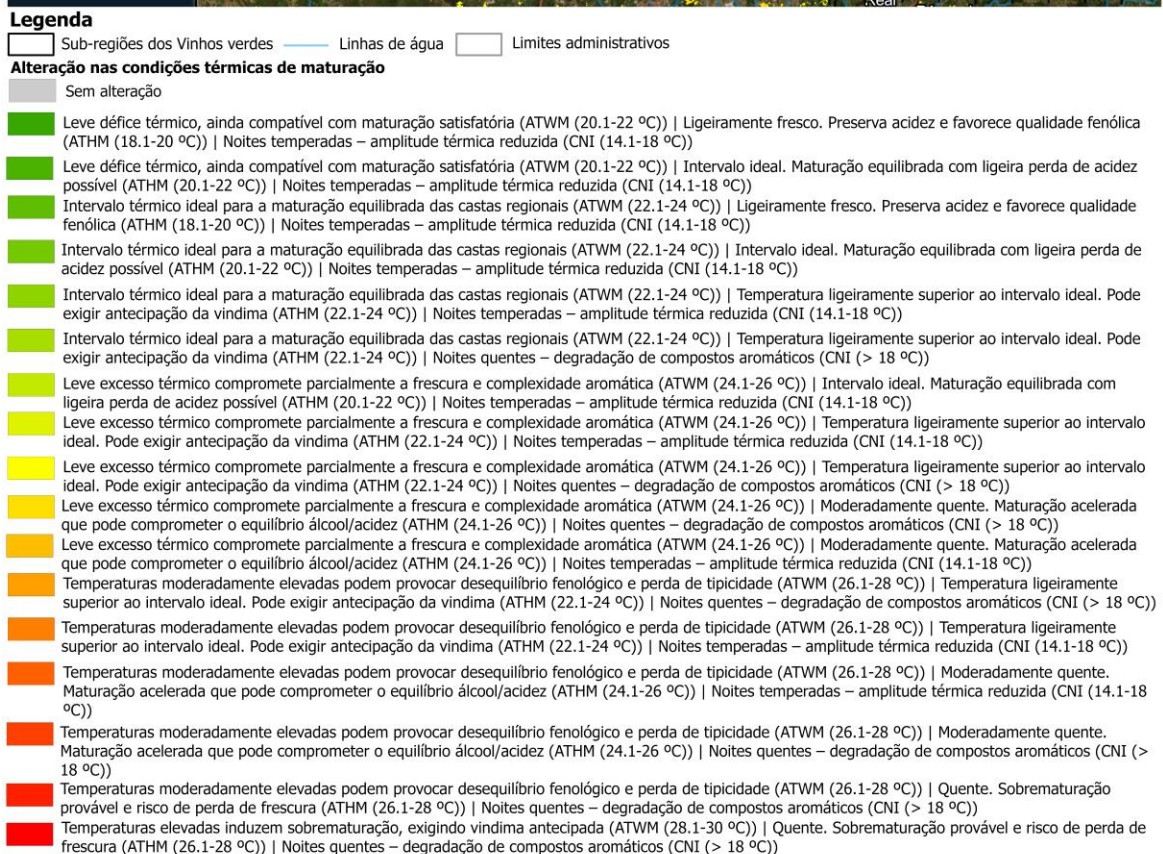
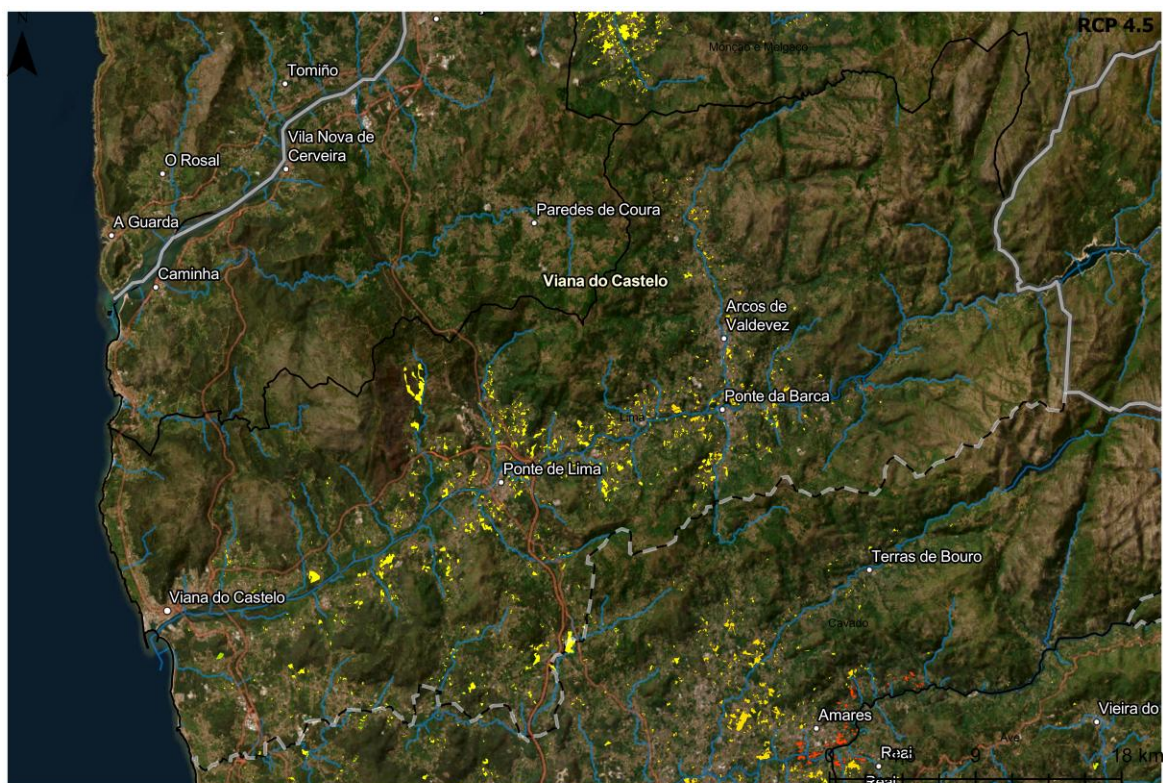


Figura A2.15. Alteração nas condições térmicas de maturação para o RCP 8.5 na sub-região do Lima.

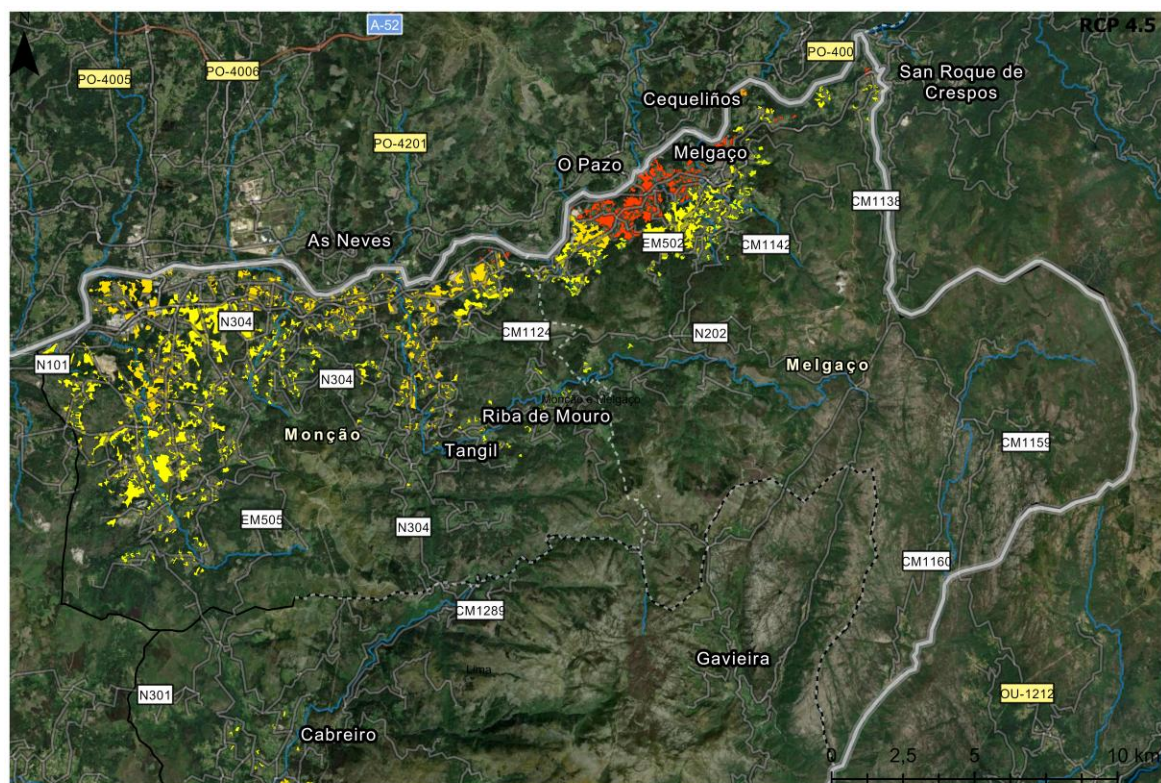


Figura A2.16. Alteração nas condições térmicas de maturação para o RCP 8.5 na sub-região de Monção e Melgaço.

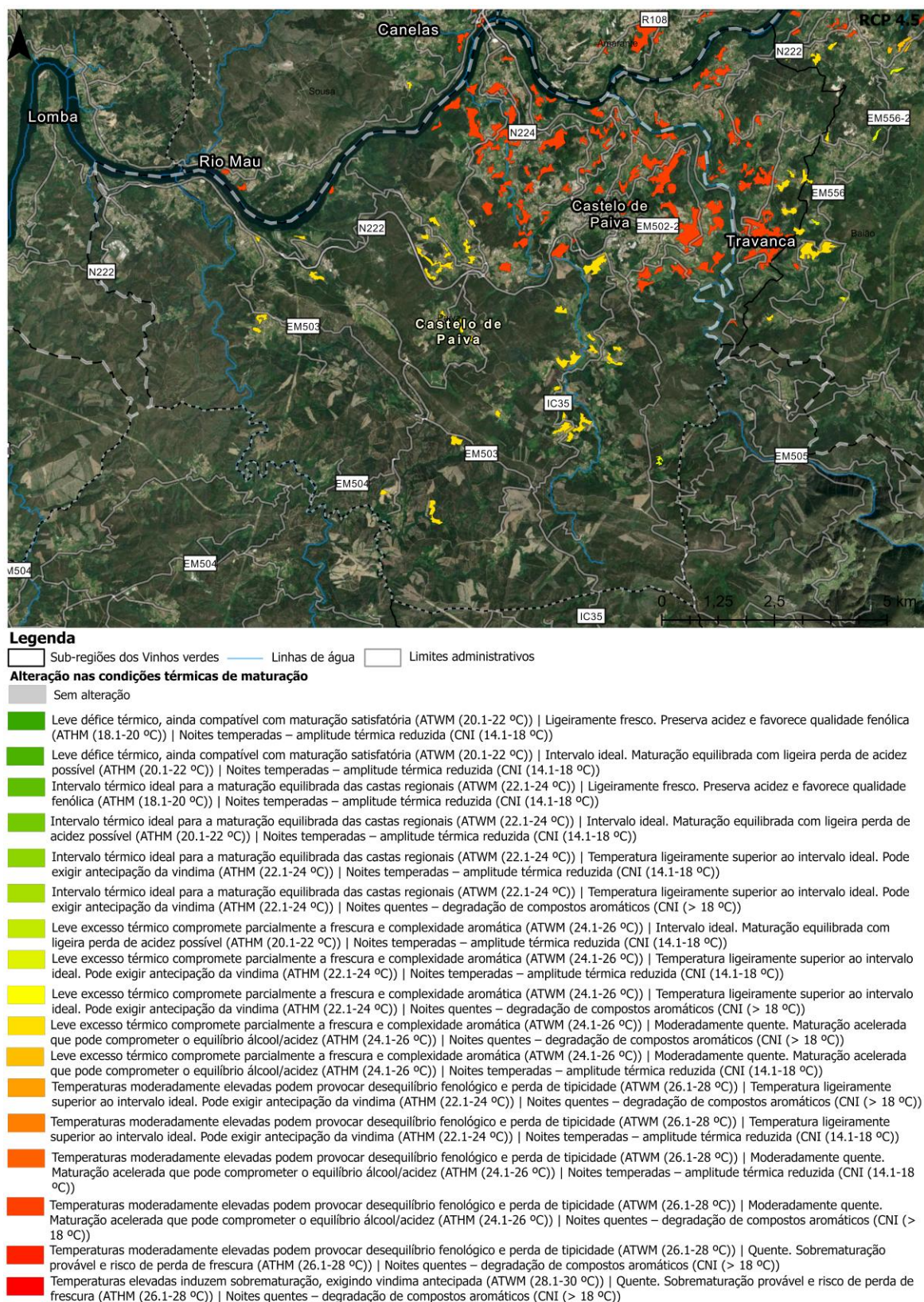
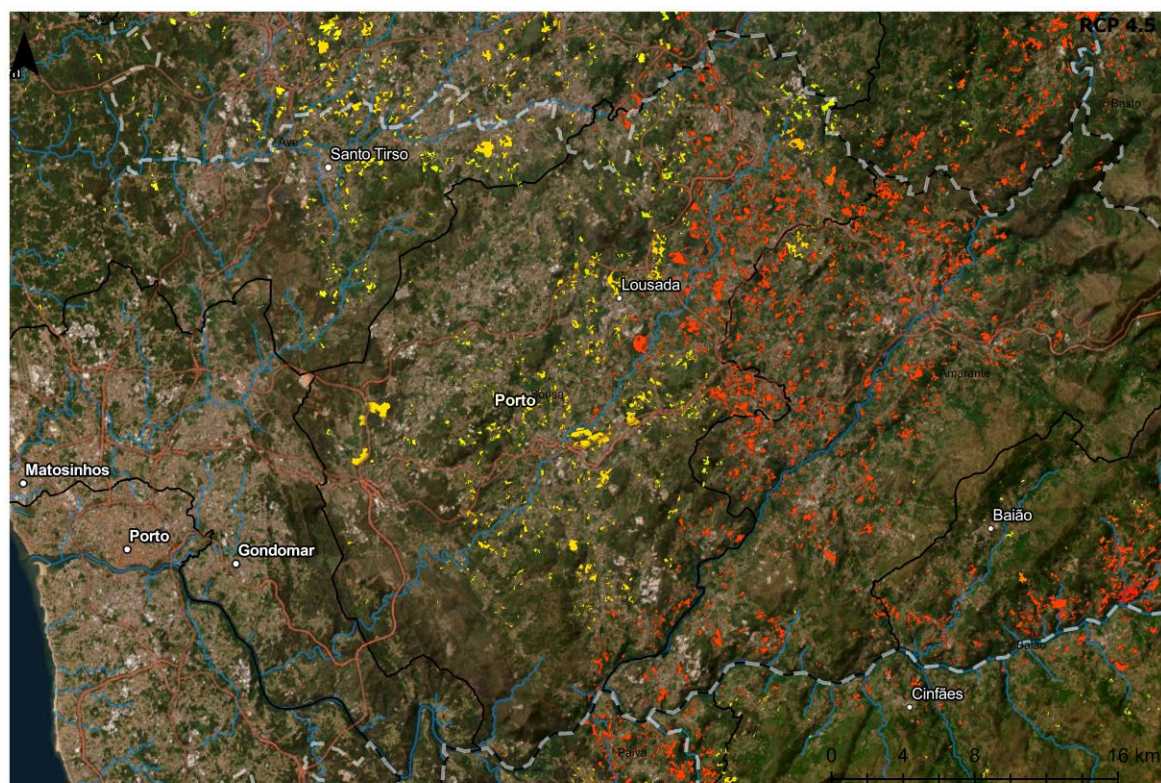


Figura A2.17. Alteração nas condições térmicas de maturação para o RCP 8.5 na sub-região do Paiva.



Legenda

Sub-regiões dos Vinhos verdes Linhas de água Limites administrativos

Alteração nas condições térmicas de maturação

Sem alteração

- Leve défice térmico, ainda compatível com maturação satisfatória (ATWM (20.1-22 °C)) | Ligeiramente fresco. Preserva acidez e favorece qualidade fenólica (ATHM (18.1-20 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Leve défice térmico, ainda compatível com maturação satisfatória (ATWM (20.1-22 °C)) | Intervalo ideal. Maturação equilibrada com ligeira perda de acidez possível (ATHM (20.1-22 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Intervalo térmico ideal para a maturação equilibrada das castas regionais (ATWM (22.1-24 °C)) | Ligeiramente fresco. Preserva acidez e favorece qualidade fenólica (ATHM (18.1-20 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Intervalo térmico ideal para a maturação equilibrada das castas regionais (ATWM (22.1-24 °C)) | Intervalo ideal. Maturação equilibrada com ligeira perda de acidez possível (ATHM (20.1-22 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Intervalo térmico ideal para a maturação equilibrada das castas regionais (ATWM (22.1-24 °C)) | Temperatura ligeiramente superior ao intervalo ideal. Pode exigir antecipação da vindima (ATHM (22.1-24 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Intervalo térmico ideal para a maturação equilibrada das castas regionais (ATWM (22.1-24 °C)) | Temperatura ligeiramente superior ao intervalo ideal. Pode exigir antecipação da vindima (ATHM (22.1-24 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))
- Leve excesso térmico compromete parcialmente a frescura e complexidade aromática (ATWM (24.1-26 °C)) | Intervalo ideal. Maturação equilibrada com ligeira perda de acidez possível (ATHM (20.1-22 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Leve excesso térmico compromete parcialmente a frescura e complexidade aromática (ATWM (24.1-26 °C)) | Temperatura ligeiramente superior ao intervalo ideal. Pode exigir antecipação da vindima (ATHM (22.1-24 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Leve excesso térmico compromete parcialmente a frescura e complexidade aromática (ATWM (24.1-26 °C)) | Temperatura ligeiramente superior ao intervalo ideal. Pode exigir antecipação da vindima (ATHM (22.1-24 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))
- Leve excesso térmico compromete parcialmente a frescura e complexidade aromática (ATWM (24.1-26 °C)) | Moderadamente quente. Maturação acelerada que pode comprometer o equilíbrio álcool/acidez (ATHM (24.1-26 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))
- Leve excesso térmico compromete parcialmente a frescura e complexidade aromática (ATWM (24.1-26 °C)) | Moderadamente quente. Maturação acelerada que pode comprometer o equilíbrio álcool/acidez (ATHM (24.1-26 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Temperaturas moderadamente elevadas podem provocar desequilíbrio fenológico e perda de tipicidade (ATWM (26.1-28 °C)) | Temperatura ligeiramente superior ao intervalo ideal. Pode exigir antecipação da vindima (ATHM (22.1-24 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))
- Temperaturas moderadamente elevadas podem provocar desequilíbrio fenológico e perda de tipicidade (ATWM (26.1-28 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Temperaturas moderadamente elevadas podem provocar desequilíbrio fenológico e perda de tipicidade (ATWM (26.1-28 °C)) | Moderadamente quente. Maturação acelerada que pode comprometer o equilíbrio álcool/acidez (ATHM (24.1-26 °C)) | Noites temperadas – amplitude térmica reduzida (CNI (14.1-18 °C))
- Temperaturas moderadamente elevadas podem provocar desequilíbrio fenológico e perda de tipicidade (ATWM (26.1-28 °C)) | Moderadamente quente. Maturação acelerada que pode comprometer o equilíbrio álcool/acidez (ATHM (24.1-26 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))
- Temperaturas moderadamente elevadas podem provocar desequilíbrio fenológico e perda de tipicidade (ATWM (26.1-28 °C)) | Quente. Sobrematuração provável e risco de perda de frescura (ATHM (26.1-28 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))
- Temperaturas elevadas induzem sobrematuração, exigindo vindima antecipada (ATWM (28.1-30 °C)) | Quente. Sobrematuração provável e risco de perda de frescura (ATHM (26.1-28 °C)) | Noites quentes – degradação de compostos aromáticos (CNI (> 18 °C))

Figura A2.18. Alteração nas condições térmicas de maturação para o RCP 8.5 na sub-região do Sousa.

ANEXO III – Indicadores hidrotérmicos

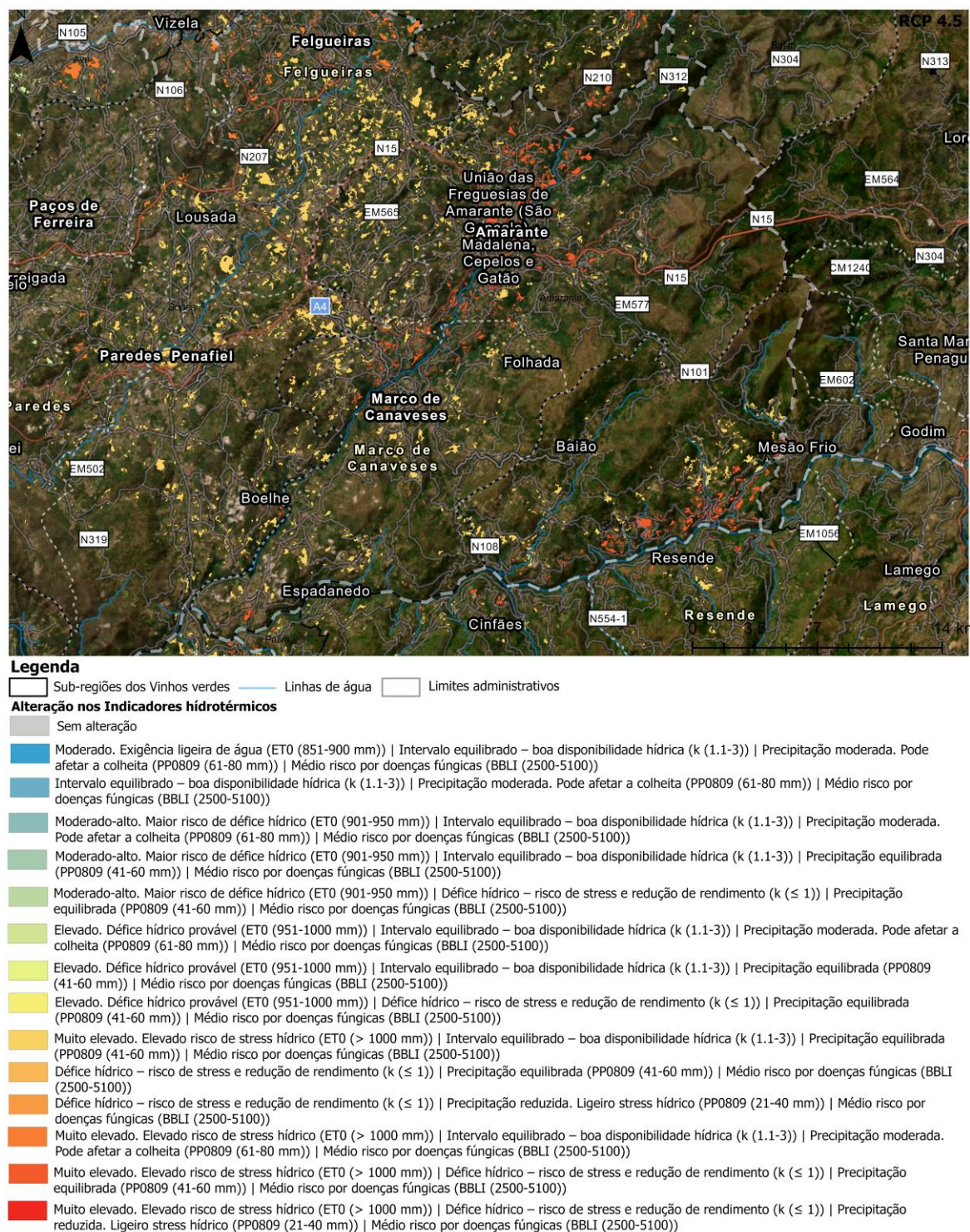


Figura A3.1. Alteração nos indicadores hidrotérmicos para o RCP 4.5 na sub-região de Amarante.

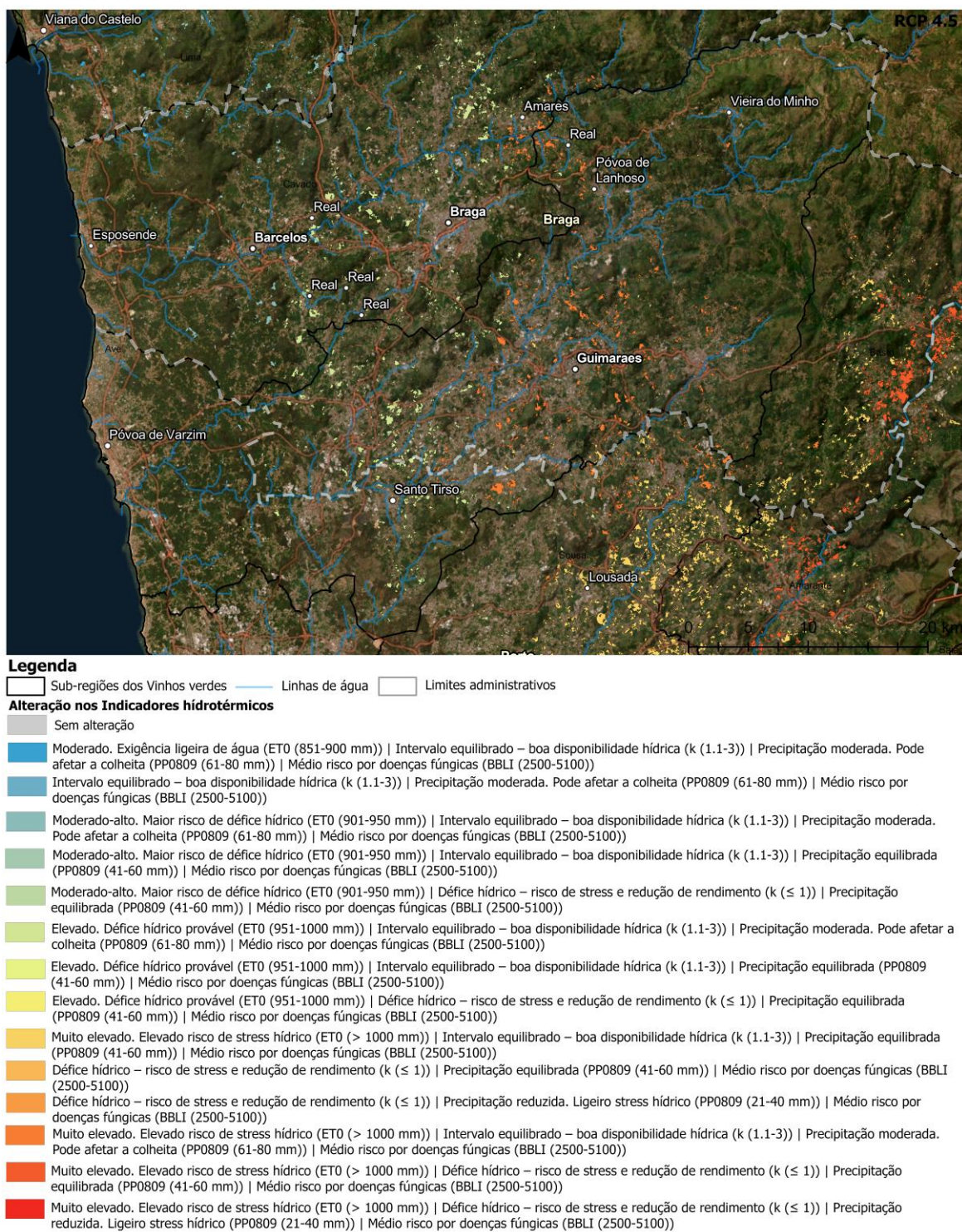
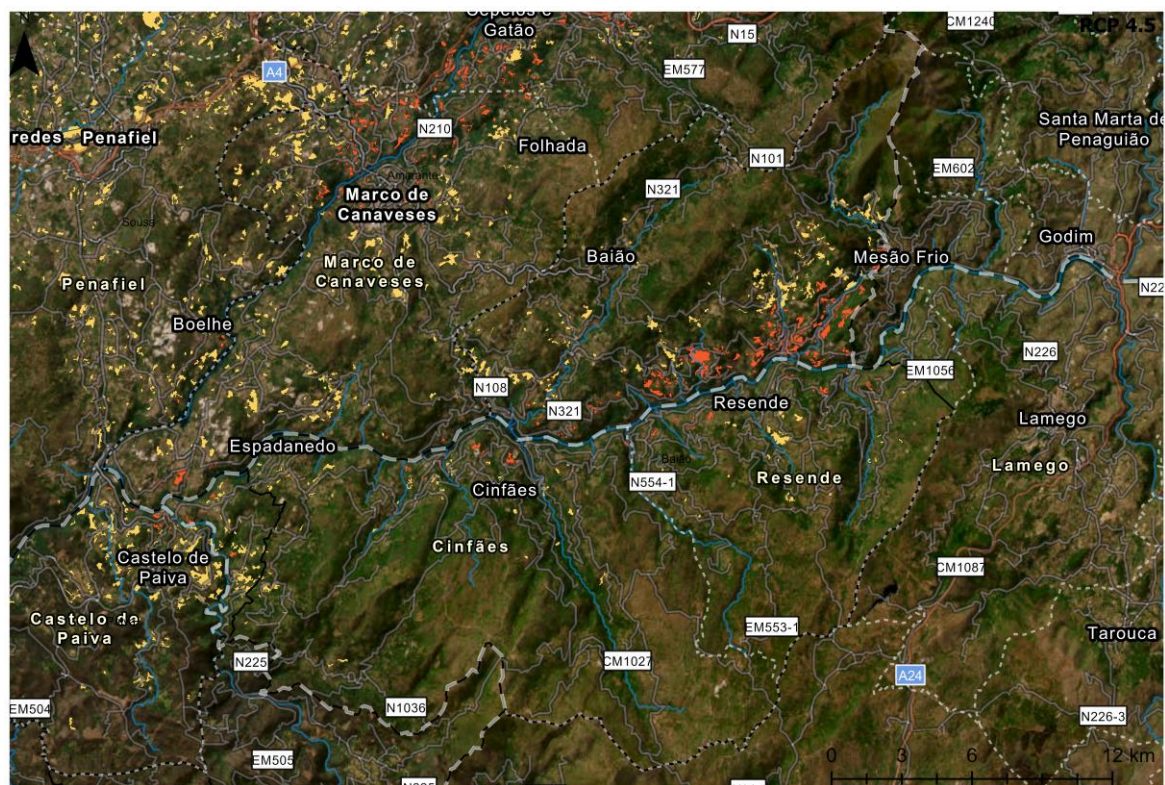


Figura A3.2. Alteração nos indicadores hidrotérmicos para o RCP 4.5 na sub-região do Ave.



Legenda

Sub-regiões dos Vinhos verdes Linhas de água Limites administrativos

Alteração nos Indicadores hidrotérmicos

Sem alteração

- Moderado. Exigência ligeira de água (ET0 (851-900 mm)) | Intervalo equilibrado – boa disponibilidade hídrica (k (1.1-3)) | Precipitação moderada. Pode afetar a colheita (PP0809 (61-80 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Intervalo equilibrado – boa disponibilidade hídrica (k (1.1-3)) | Precipitação moderada. Pode afetar a colheita (PP0809 (61-80 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Moderado-alto. Maior risco de défice hídrico (ET0 (901-950 mm)) | Intervalo equilibrado – boa disponibilidade hídrica (k (1.1-3)) | Precipitação moderada. Pode afetar a colheita (PP0809 (61-80 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Moderado-alto. Maior risco de défice hídrico (ET0 (901-950 mm)) | Intervalo equilibrado – boa disponibilidade hídrica (k (1.1-3)) | Precipitação equilibrada (PP0809 (41-60 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Moderado-alto. Maior risco de défice hídrico (ET0 (901-950 mm)) | Déficit hídrico – risco de stress e redução de rendimento (k (≤ 1)) | Precipitação equilibrada (PP0809 (41-60 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Elevado. Déficit hídrico provável (ET0 (951-1000 mm)) | Intervalo equilibrado – boa disponibilidade hídrica (k (1.1-3)) | Precipitação moderada. Pode afetar a colheita (PP0809 (61-80 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Elevado. Déficit hídrico provável (ET0 (951-1000 mm)) | Intervalo equilibrado – boa disponibilidade hídrica (k (1.1-3)) | Precipitação equilibrada (PP0809 (41-60 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Elevado. Déficit hídrico provável (ET0 (951-1000 mm)) | Déficit hídrico – risco de stress e redução de rendimento (k (≤ 1)) | Precipitação equilibrada (PP0809 (41-60 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Muito elevado. Elevado risco de stress hídrico (ET0 (> 1000 mm)) | Intervalo equilibrado – boa disponibilidade hídrica (k (1.1-3)) | Precipitação equilibrada (PP0809 (41-60 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Déficit hídrico – risco de stress e redução de rendimento (k (≤ 1)) | Precipitação equilibrada (PP0809 (41-60 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Déficit hídrico – risco de stress e redução de rendimento (k (≤ 1)) | Precipitação reduzida. Ligeiro stress hídrico (PP0809 (21-40 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Muito elevado. Elevado risco de stress hídrico (ET0 (> 1000 mm)) | Intervalo equilibrado – boa disponibilidade hídrica (k (1.1-3)) | Precipitação moderada. Pode afetar a colheita (PP0809 (61-80 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Muito elevado. Elevado risco de stress hídrico (ET0 (> 1000 mm)) | Déficit hídrico – risco de stress e redução de rendimento (k (≤ 1)) | Precipitação equilibrada (PP0809 (41-60 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Muito elevado. Elevado risco de stress hídrico (ET0 (> 1000 mm)) | Déficit hídrico – risco de stress e redução de rendimento (k (≤ 1)) | Precipitação reduzida. Ligeiro stress hídrico (PP0809 (21-40 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))

Figura A3.3. Alteração nos indicadores hidrotérmicos para o RCP 4.5 na sub-região de Baião.

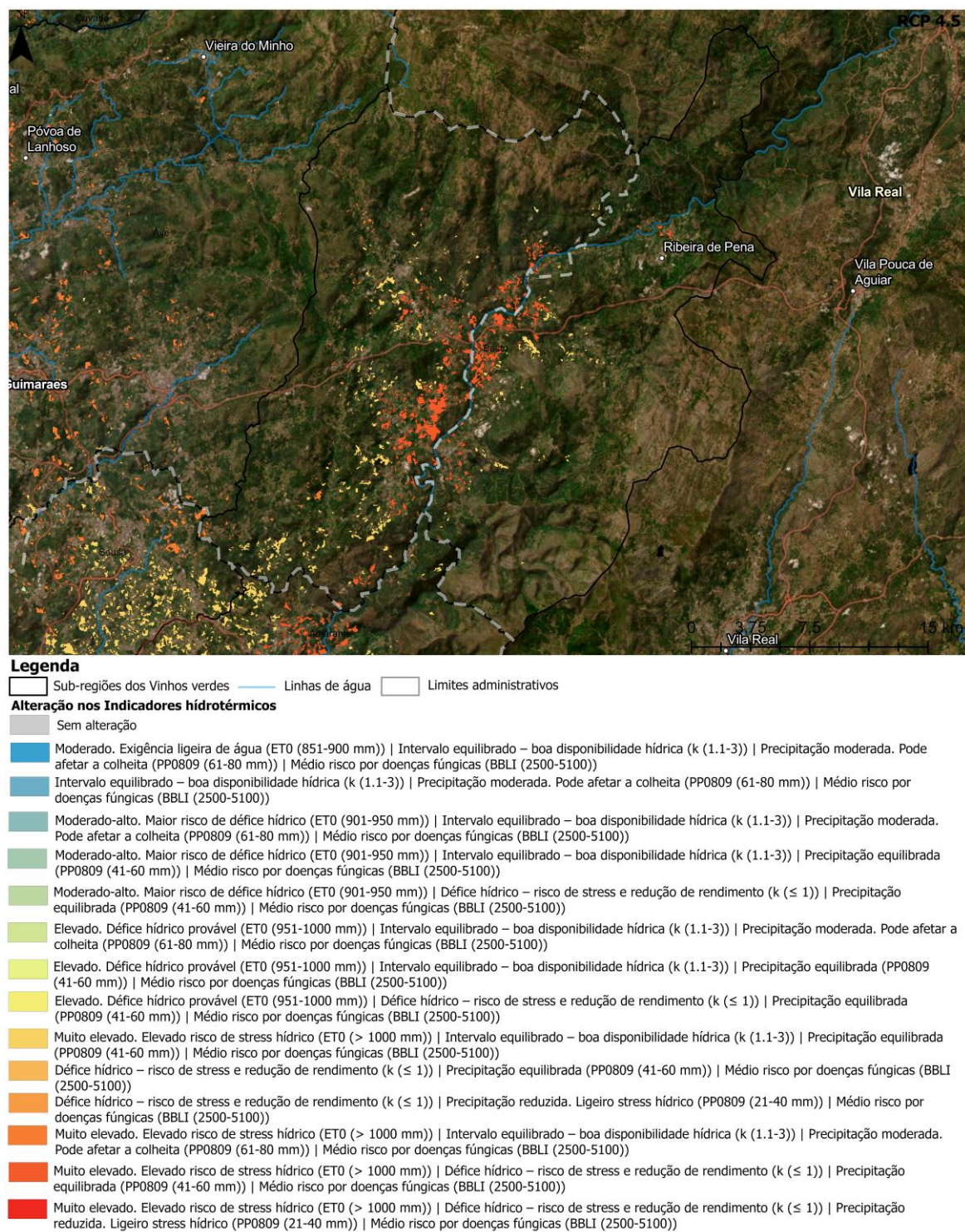


Figura A3.4. Alteração nos indicadores hidrotérmicos para o RCP 4.5 na sub-região de Basto.

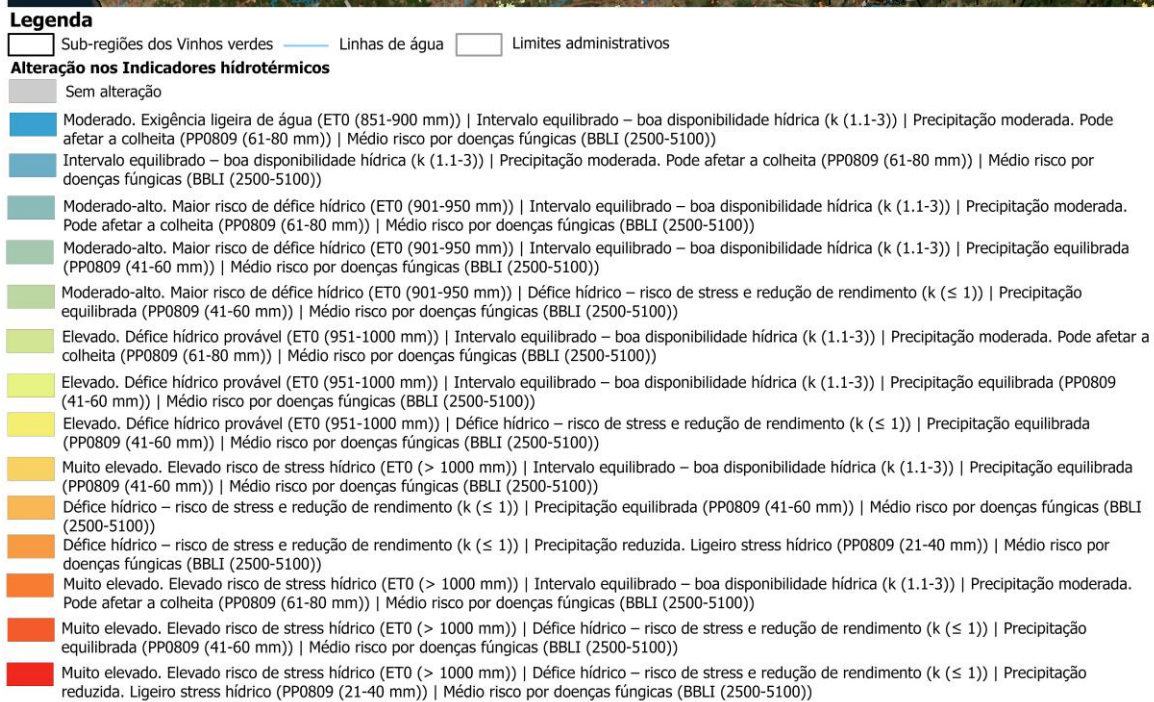
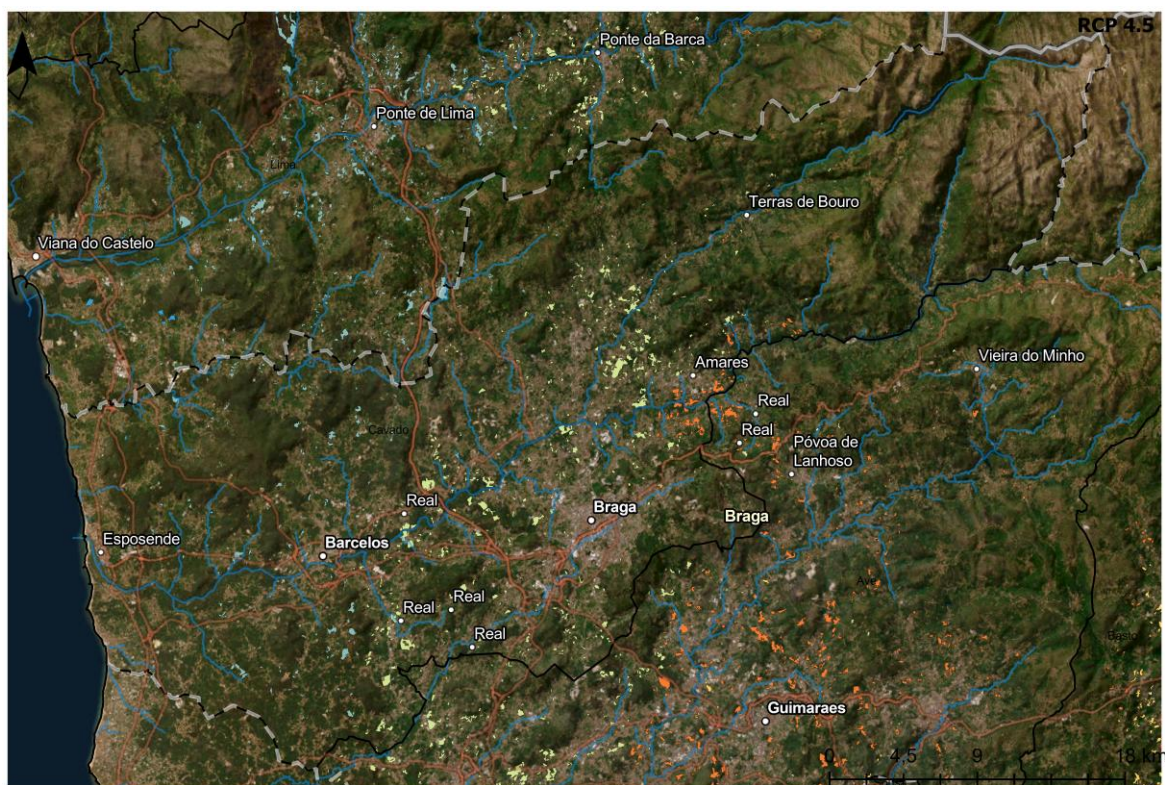


Figura A3.5. Alteração nos indicadores hidrotérmicos para o RCP 4.5 na sub-região do Cávado.

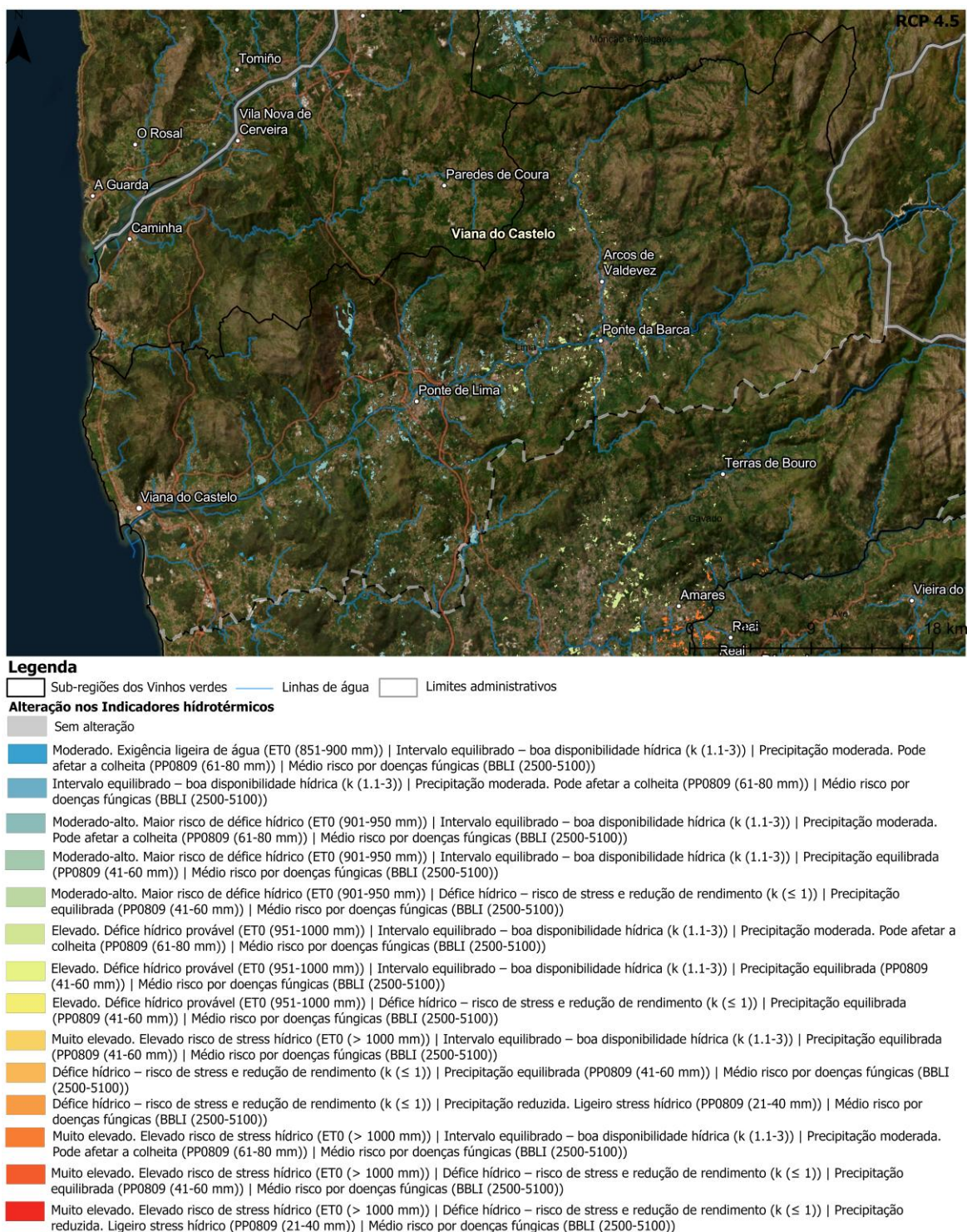
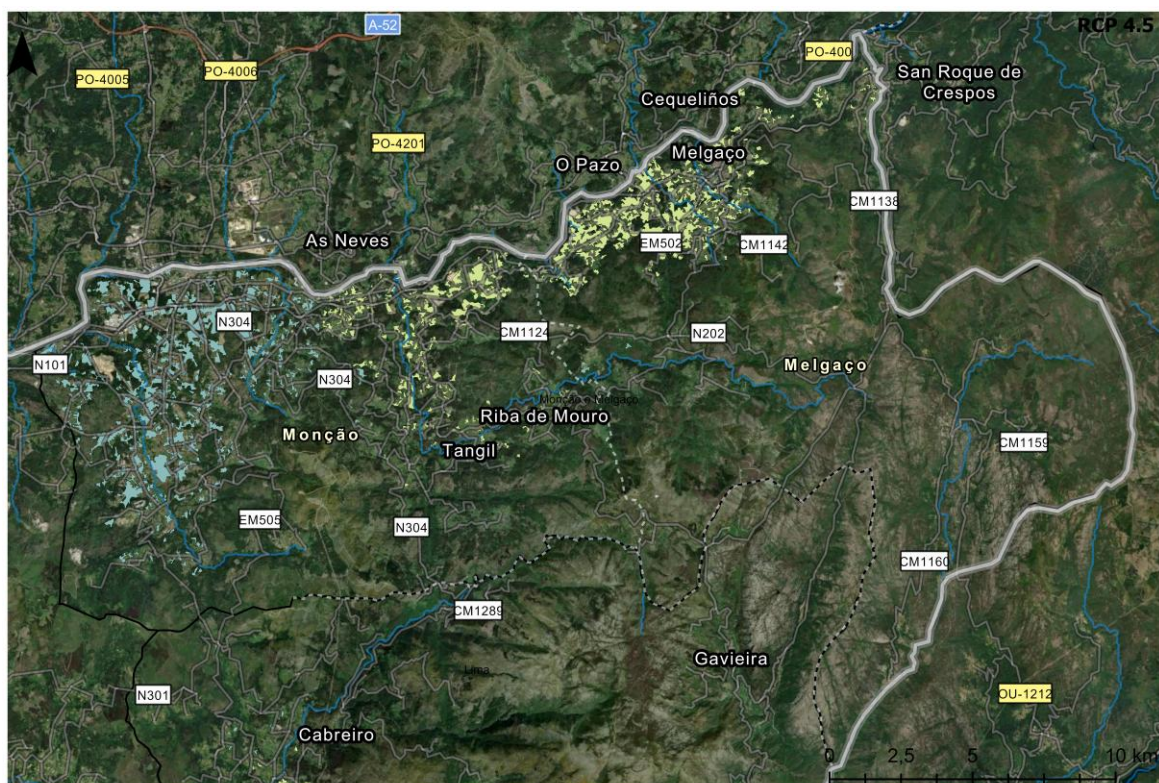


Figura A3.6. Alteração nos indicadores hidrotérmicos para o RCP 4.5 na sub-região do Lima.



Legenda

Sub-regiões dos Vinhos verdes Linhas de água Limites administrativos

Alteração nos Indicadores hidrotérmicos

Sem alteração

- Moderado. Exigência ligeira de água (ET0 (851-900 mm)) | Intervalo equilibrado – boa disponibilidade hídrica (k (1.1-3)) | Precipitação moderada. Pode afetar a colheita (PP0809 (61-80 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Intervalo equilibrado – boa disponibilidade hídrica (k (1.1-3)) | Precipitação moderada. Pode afetar a colheita (PP0809 (61-80 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Moderado-alto. Maior risco de défice hídrico (ET0 (901-950 mm)) | Intervalo equilibrado – boa disponibilidade hídrica (k (1.1-3)) | Precipitação moderada. Pode afetar a colheita (PP0809 (61-80 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Moderado-alto. Maior risco de défice hídrico (ET0 (901-950 mm)) | Intervalo equilibrado – boa disponibilidade hídrica (k (1.1-3)) | Precipitação equilibrada (PP0809 (41-60 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Moderado-alto. Maior risco de défice hídrico (ET0 (901-950 mm)) | Déficit hídrico – risco de stress e redução de rendimento (k (≤ 1)) | Precipitação equilibrada (PP0809 (41-60 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Elevado. Déficit hídrico provável (ET0 (951-1000 mm)) | Intervalo equilibrado – boa disponibilidade hídrica (k (1.1-3)) | Precipitação moderada. Pode afetar a colheita (PP0809 (61-80 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Elevado. Déficit hídrico provável (ET0 (951-1000 mm)) | Intervalo equilibrado – boa disponibilidade hídrica (k (1.1-3)) | Precipitação equilibrada (PP0809 (41-60 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Elevado. Déficit hídrico provável (ET0 (951-1000 mm)) | Déficit hídrico – risco de stress e redução de rendimento (k (≤ 1)) | Precipitação equilibrada (PP0809 (41-60 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Muito elevado. Elevado risco de stress hídrico (ET0 (> 1000 mm)) | Intervalo equilibrado – boa disponibilidade hídrica (k (1.1-3)) | Precipitação equilibrada (PP0809 (41-60 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Déficit hídrico – risco de stress e redução de rendimento (k (≤ 1)) | Precipitação equilibrada (PP0809 (41-60 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Déficit hídrico – risco de stress e redução de rendimento (k (≤ 1)) | Precipitação reduzida. Ligeiro stress hídrico (PP0809 (21-40 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Muito elevado. Elevado risco de stress hídrico (ET0 (> 1000 mm)) | Intervalo equilibrado – boa disponibilidade hídrica (k (1.1-3)) | Precipitação moderada. Pode afetar a colheita (PP0809 (61-80 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Muito elevado. Elevado risco de stress hídrico (ET0 (> 1000 mm)) | Déficit hídrico – risco de stress e redução de rendimento (k (≤ 1)) | Precipitação equilibrada (PP0809 (41-60 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Muito elevado. Elevado risco de stress hídrico (ET0 (> 1000 mm)) | Déficit hídrico – risco de stress e redução de rendimento (k (≤ 1)) | Precipitação reduzida. Ligeiro stress hídrico (PP0809 (21-40 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))

Figura A3.7. Alteração nos indicadores hidrotérmicos para o RCP 4.5 na sub-região de Monção e Melgaço.

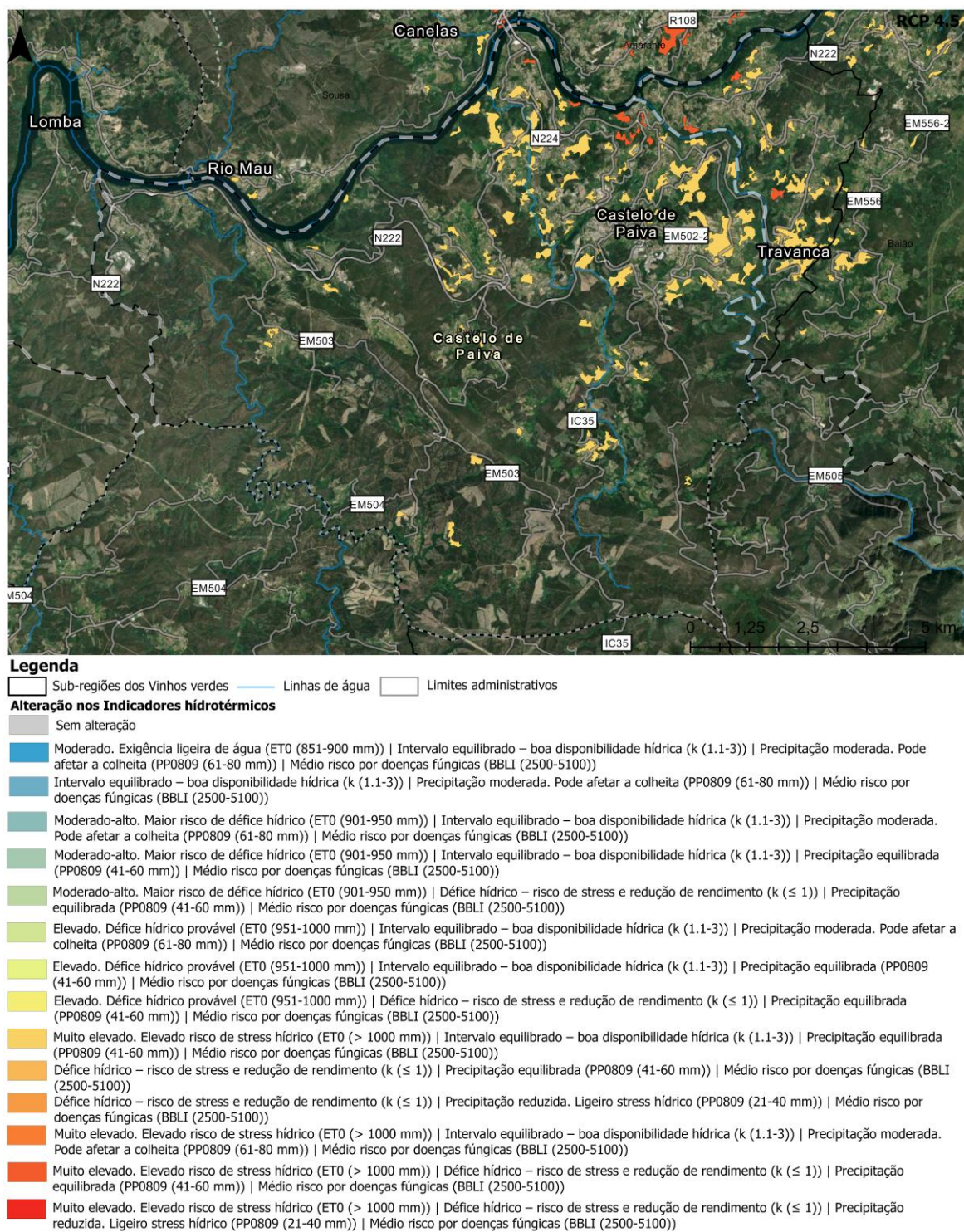


Figura A3.8. Alteração nos indicadores hidrotérmicos para o RCP 4.5 na sub-região do Paiva.

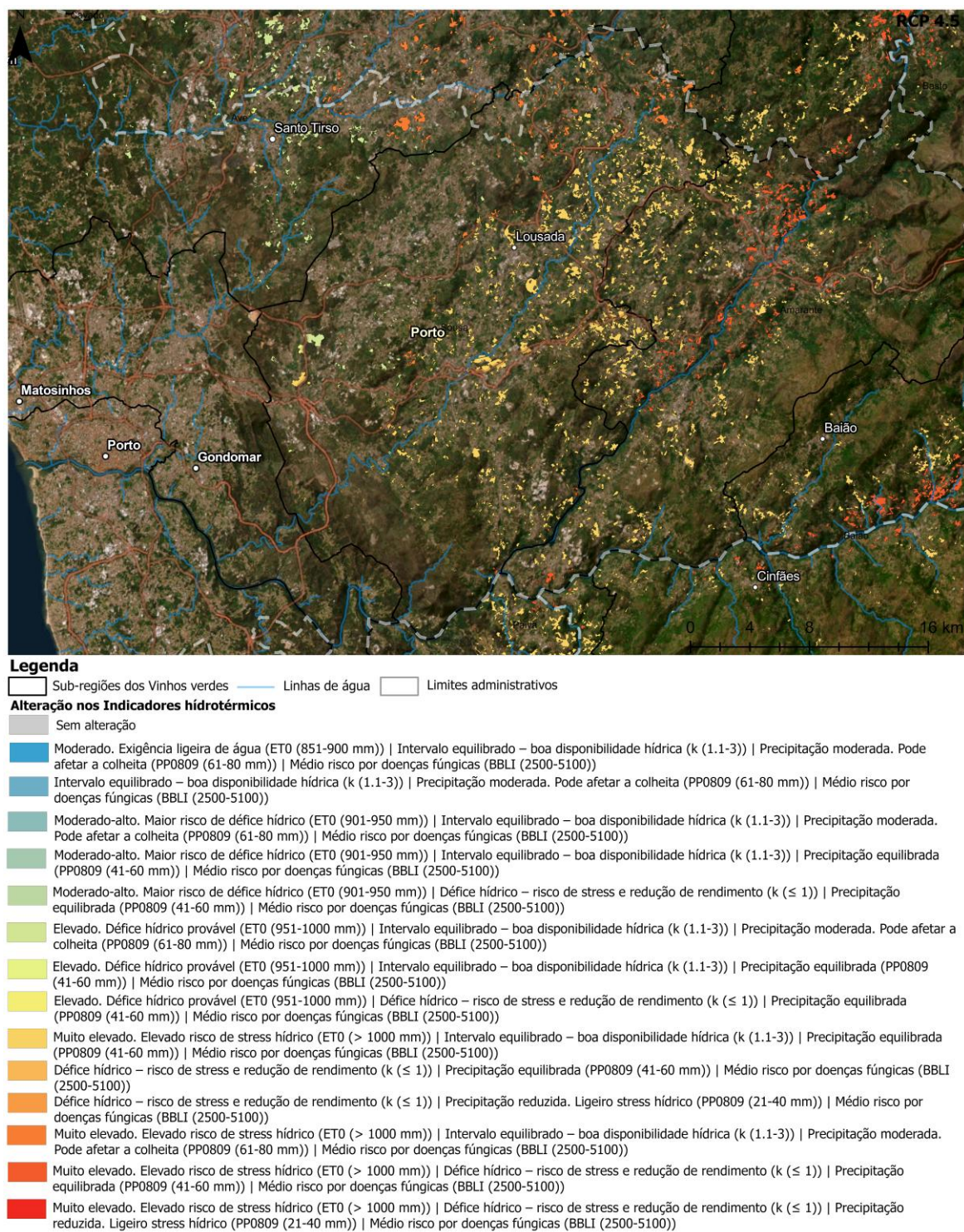


Figura A3.9. Alteração nos indicadores hidrotérmicos para o RCP 4.5 na sub-região do Sousa.

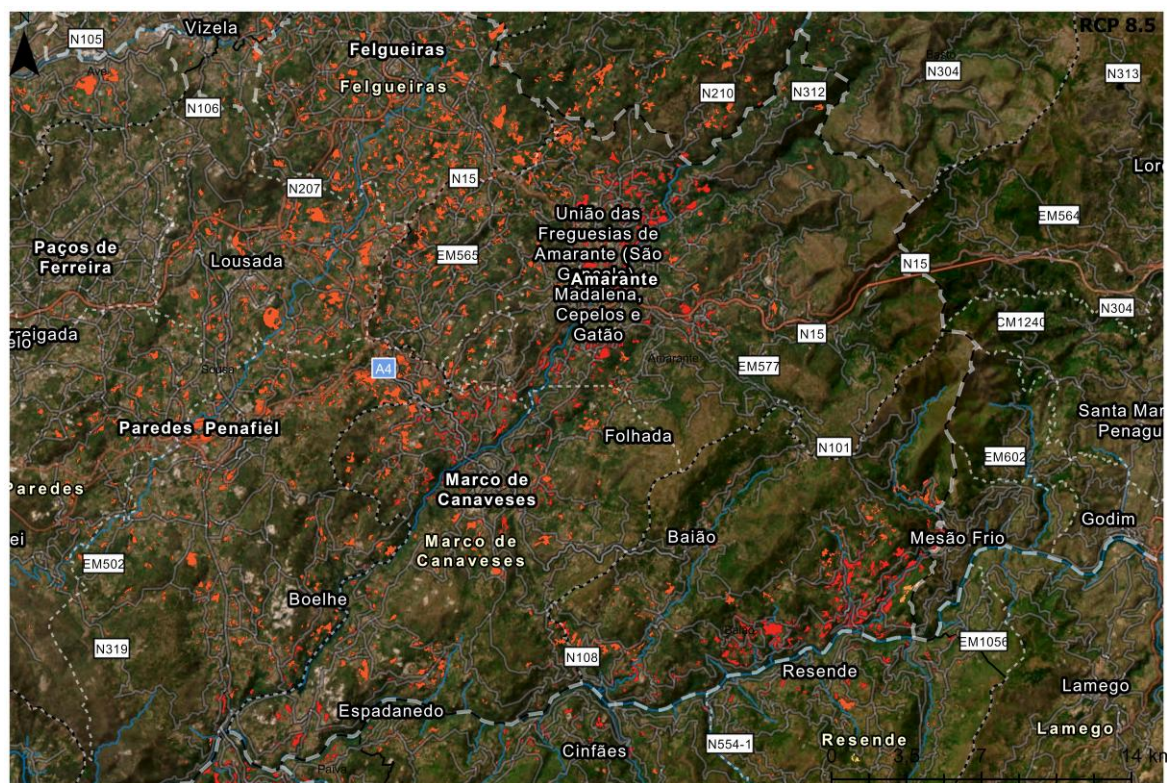


Figura A3.10. Alteração nos indicadores hidrotérmicos para o RCP 8.5 na sub-região de Amarante.

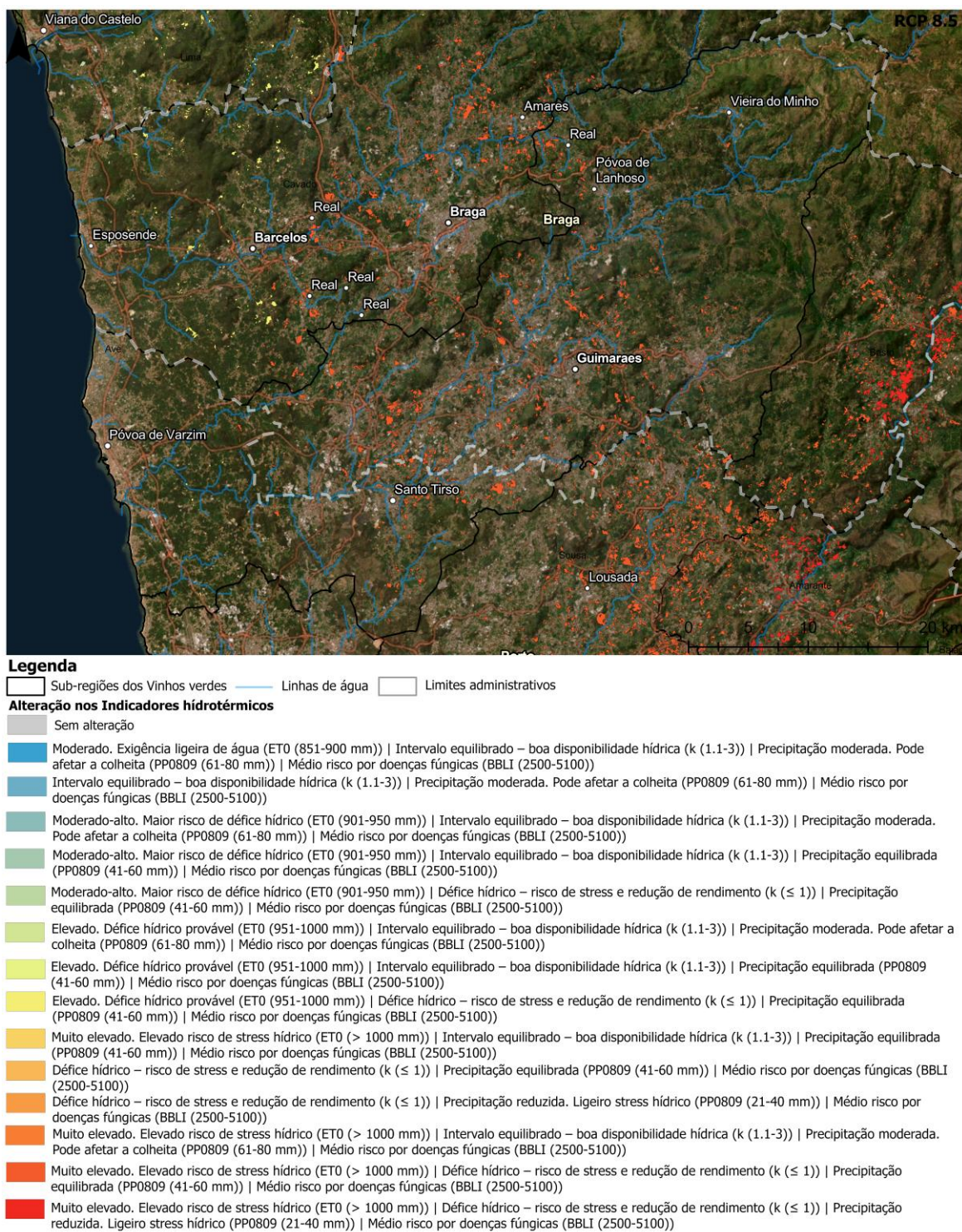


Figura A3.11. Alteração nos indicadores hidrotérmicos para o RCP 8.5 na sub-região do Ave.

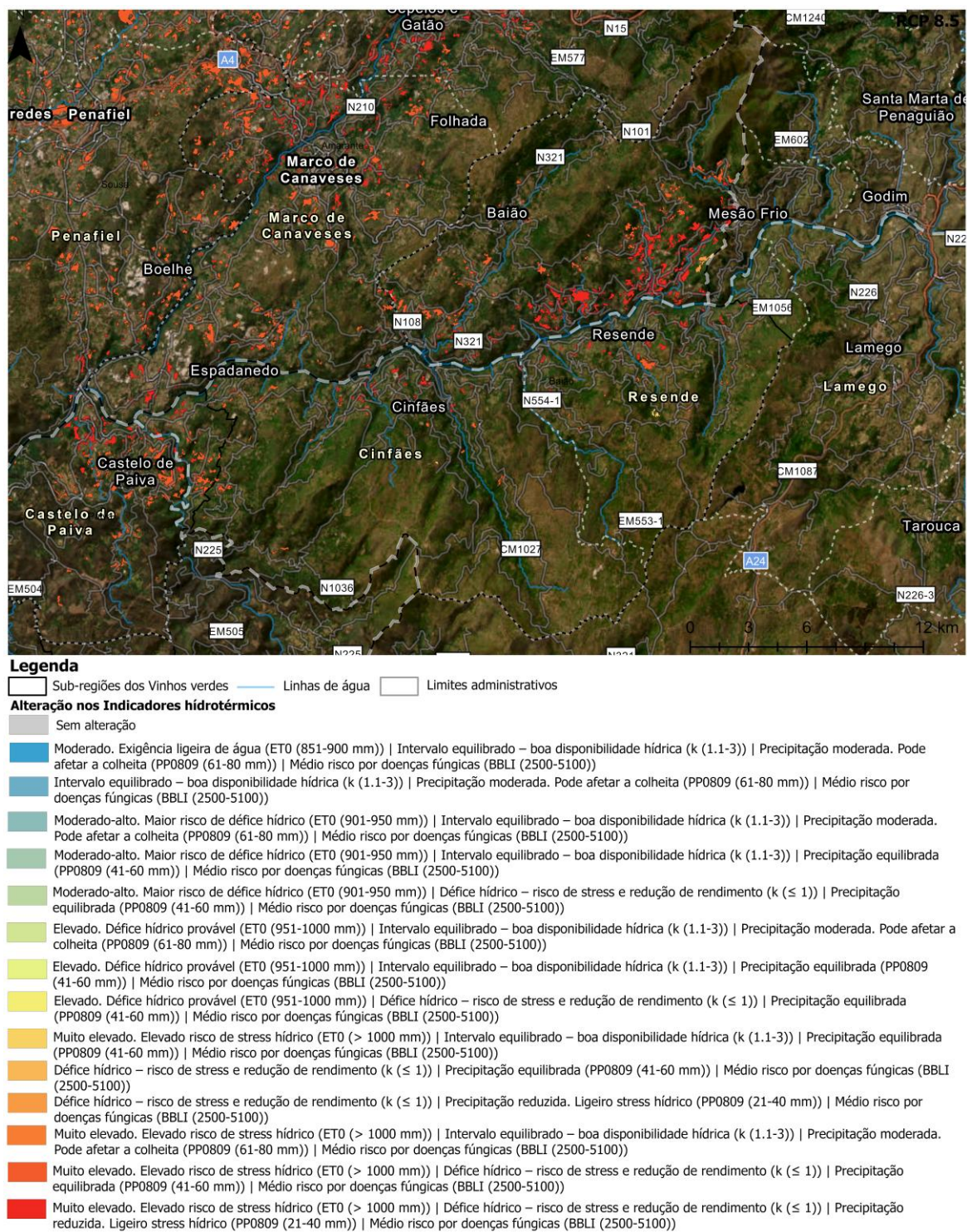
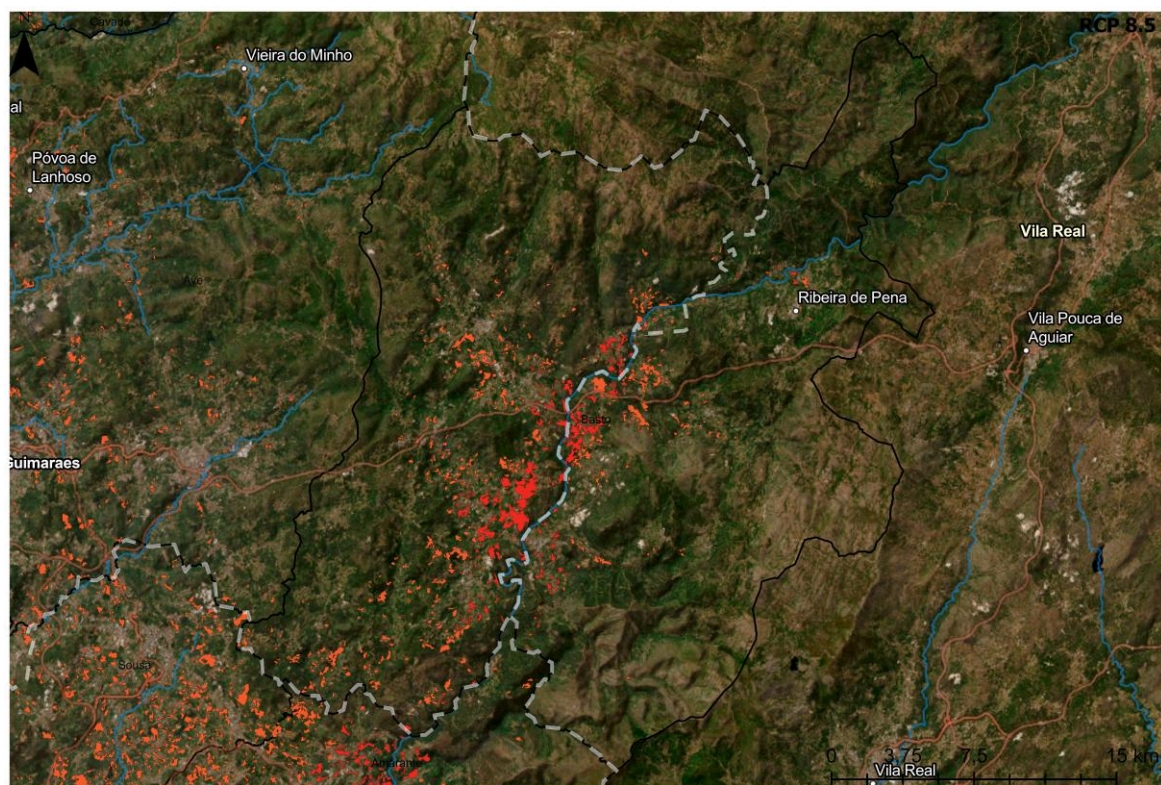


Figura A3.12. Alteração nos indicadores hidrotérmicos para o RCP 8.5 na sub-região de Baião.



Legenda

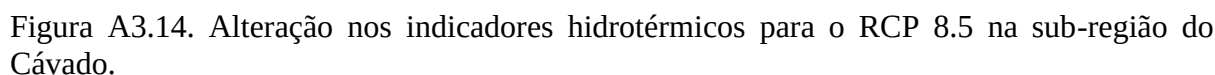
Sub-regiões dos Vinhos verdes Linhas de água Limites administrativos

Alteração nos Indicadores hidrotérmicos

Sem alteração

- Moderado. Exigência ligeira de água (ET0 (851-900 mm)) | Intervalo equilibrado – boa disponibilidade hídrica (k (1.1-3)) | Precipitação moderada. Pode afetar a colheita (PP0809 (61-80 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Intervalo equilibrado – boa disponibilidade hídrica (k (1.1-3)) | Precipitação moderada. Pode afetar a colheita (PP0809 (61-80 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Moderado-alto. Maior risco de défice hídrico (ET0 (901-950 mm)) | Intervalo equilibrado – boa disponibilidade hídrica (k (1.1-3)) | Precipitação moderada. Pode afetar a colheita (PP0809 (61-80 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Moderado-alto. Maior risco de défice hídrico (ET0 (901-950 mm)) | Intervalo equilibrado – boa disponibilidade hídrica (k (1.1-3)) | Precipitação equilibrada (PP0809 (41-60 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Moderado-alto. Maior risco de défice hídrico (ET0 (901-950 mm)) | Déficit hídrico – risco de stress e redução de rendimento (k ($\leq$ 1)) | Precipitação equilibrada (PP0809 (41-60 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Elevado. Déficit hídrico provável (ET0 (951-1000 mm)) | Intervalo equilibrado – boa disponibilidade hídrica (k (1.1-3)) | Precipitação moderada. Pode afetar a colheita (PP0809 (61-80 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Elevado. Déficit hídrico provável (ET0 (951-1000 mm)) | Intervalo equilibrado – boa disponibilidade hídrica (k (1.1-3)) | Precipitação equilibrada (PP0809 (41-60 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Elevado. Déficit hídrico provável (ET0 (951-1000 mm)) | Déficit hídrico – risco de stress e redução de rendimento (k ($\leq$ 1)) | Precipitação equilibrada (PP0809 (41-60 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Muito elevado. Elevado risco de stress hídrico (ET0 (> 1000 mm)) | Intervalo equilibrado – boa disponibilidade hídrica (k (1.1-3)) | Precipitação equilibrada (PP0809 (41-60 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Déficit hídrico – risco de stress e redução de rendimento (k ($\leq$ 1)) | Precipitação equilibrada (PP0809 (41-60 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Déficit hídrico – risco de stress e redução de rendimento (k ($\leq$ 1)) | Precipitação reduzida. Ligeiro stress hídrico (PP0809 (21-40 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Muito elevado. Elevado risco de stress hídrico (ET0 (> 1000 mm)) | Intervalo equilibrado – boa disponibilidade hídrica (k (1.1-3)) | Precipitação moderada. Pode afetar a colheita (PP0809 (61-80 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Muito elevado. Elevado risco de stress hídrico (ET0 (> 1000 mm)) | Déficit hídrico – risco de stress e redução de rendimento (k ($\leq$ 1)) | Precipitação equilibrada (PP0809 (41-60 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Muito elevado. Elevado risco de stress hídrico (ET0 (> 1000 mm)) | Déficit hídrico – risco de stress e redução de rendimento (k ($\leq$ 1)) | Precipitação reduzida. Ligeiro stress hídrico (PP0809 (21-40 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))

Figura A3.13. Alteração nos indicadores hidrotérmicos para o RCP 8.5 na sub-região de Basto.



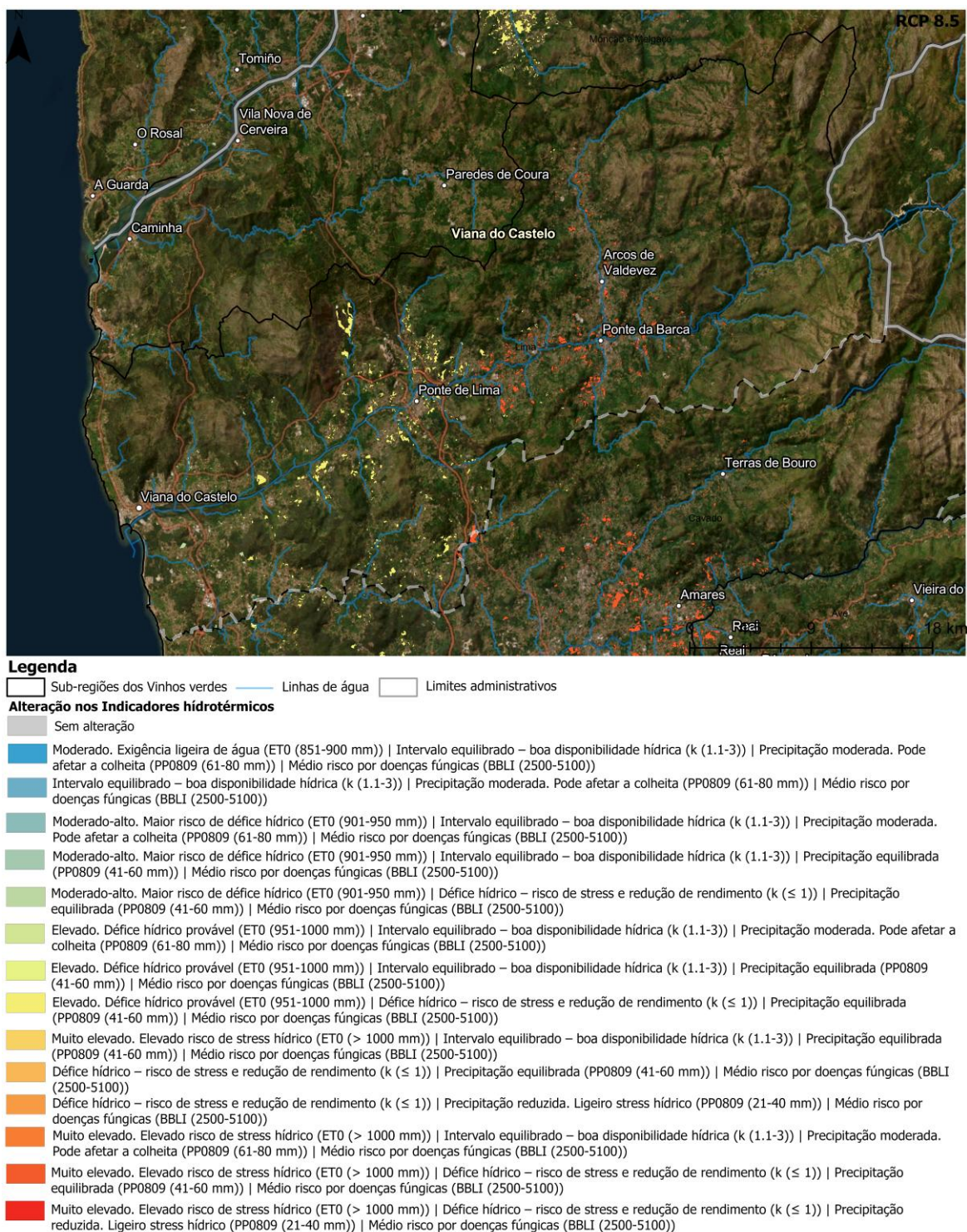
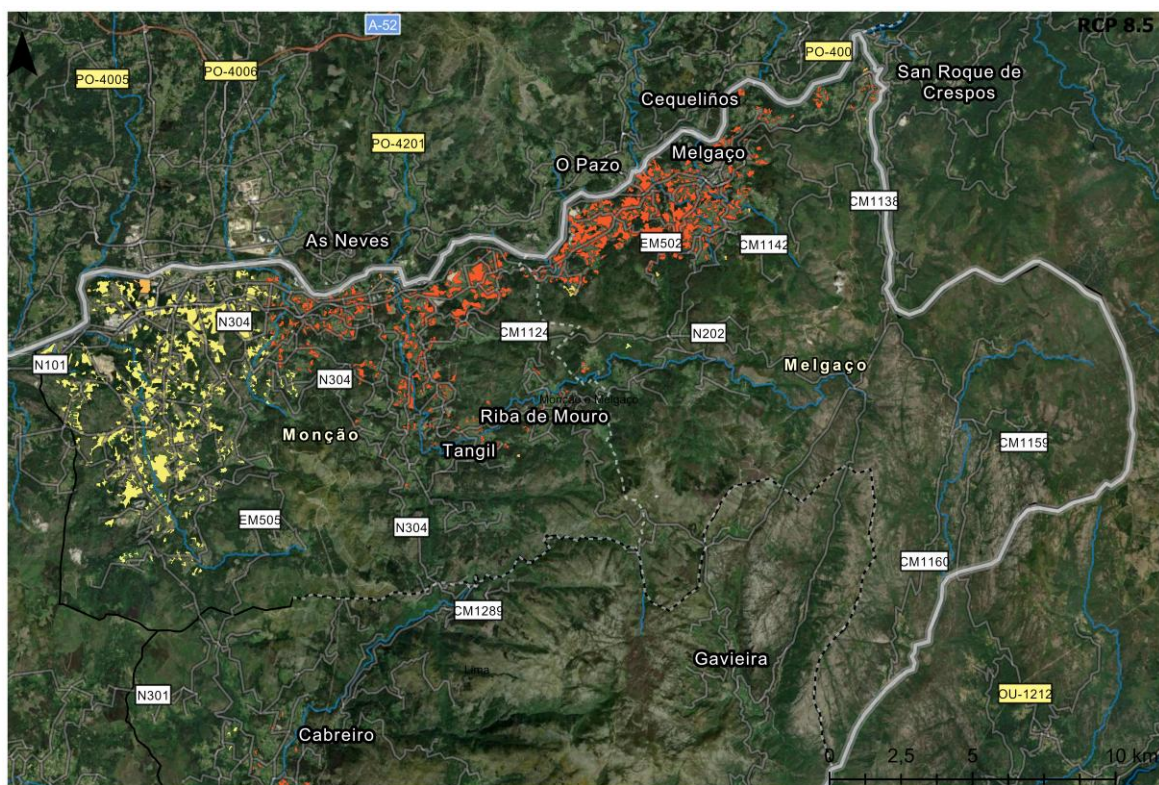


Figura A3.15. Alteração nos indicadores hidrotérmicos para o RCP 8.5 na sub-região do Lima.



Legenda

Sub-regiões dos Vinhos verdes Linhas de água Limites administrativos

Alteração nos Indicadores hidrotérmicos

Sem alteração

- Moderado. Exigência ligeira de água (ET0 (851-900 mm)) | Intervalo equilibrado – boa disponibilidade hídrica (k (1.1-3)) | Precipitação moderada. Pode afetar a colheita (PP0809 (61-80 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Intervalo equilibrado – boa disponibilidade hídrica (k (1.1-3)) | Precipitação moderada. Pode afetar a colheita (PP0809 (61-80 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Moderado-alto. Maior risco de défice hídrico (ET0 (901-950 mm)) | Intervalo equilibrado – boa disponibilidade hídrica (k (1.1-3)) | Precipitação moderada. Pode afetar a colheita (PP0809 (61-80 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Moderado-alto. Maior risco de défice hídrico (ET0 (901-950 mm)) | Intervalo equilibrado – boa disponibilidade hídrica (k (1.1-3)) | Precipitação equilibrada (PP0809 (41-60 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Moderado-alto. Maior risco de défice hídrico (ET0 (901-950 mm)) | Déficit hídrico – risco de stress e redução de rendimento (k (≤ 1)) | Precipitação equilibrada (PP0809 (41-60 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Elevado. Déficit hídrico provável (ET0 (951-1000 mm)) | Intervalo equilibrado – boa disponibilidade hídrica (k (1.1-3)) | Precipitação moderada. Pode afetar a colheita (PP0809 (61-80 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Elevado. Déficit hídrico provável (ET0 (951-1000 mm)) | Intervalo equilibrado – boa disponibilidade hídrica (k (1.1-3)) | Precipitação equilibrada (PP0809 (41-60 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Elevado. Déficit hídrico provável (ET0 (951-1000 mm)) | Déficit hídrico – risco de stress e redução de rendimento (k (≤ 1)) | Precipitação equilibrada (PP0809 (41-60 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Muito elevado. Elevado risco de stress hídrico (ET0 (> 1000 mm)) | Intervalo equilibrado – boa disponibilidade hídrica (k (1.1-3)) | Precipitação equilibrada (PP0809 (41-60 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Déficit hídrico – risco de stress e redução de rendimento (k (≤ 1)) | Precipitação equilibrada (PP0809 (41-60 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Déficit hídrico – risco de stress e redução de rendimento (k (≤ 1)) | Precipitação reduzida. Ligeiro stress hídrico (PP0809 (21-40 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Muito elevado. Elevado risco de stress hídrico (ET0 (> 1000 mm)) | Intervalo equilibrado – boa disponibilidade hídrica (k (1.1-3)) | Precipitação moderada. Pode afetar a colheita (PP0809 (61-80 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Muito elevado. Elevado risco de stress hídrico (ET0 (> 1000 mm)) | Déficit hídrico – risco de stress e redução de rendimento (k (≤ 1)) | Precipitação equilibrada (PP0809 (41-60 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))
- Muito elevado. Elevado risco de stress hídrico (ET0 (> 1000 mm)) | Déficit hídrico – risco de stress e redução de rendimento (k (≤ 1)) | Precipitação reduzida. Ligeiro stress hídrico (PP0809 (21-40 mm)) | Médio risco por doenças fúngicas (BBLI (2500-5100))

Figura A3.16. Alteração nos indicadores hidrotérmicos para o RCP 8.5 na sub-região de Monção e Melgaço.

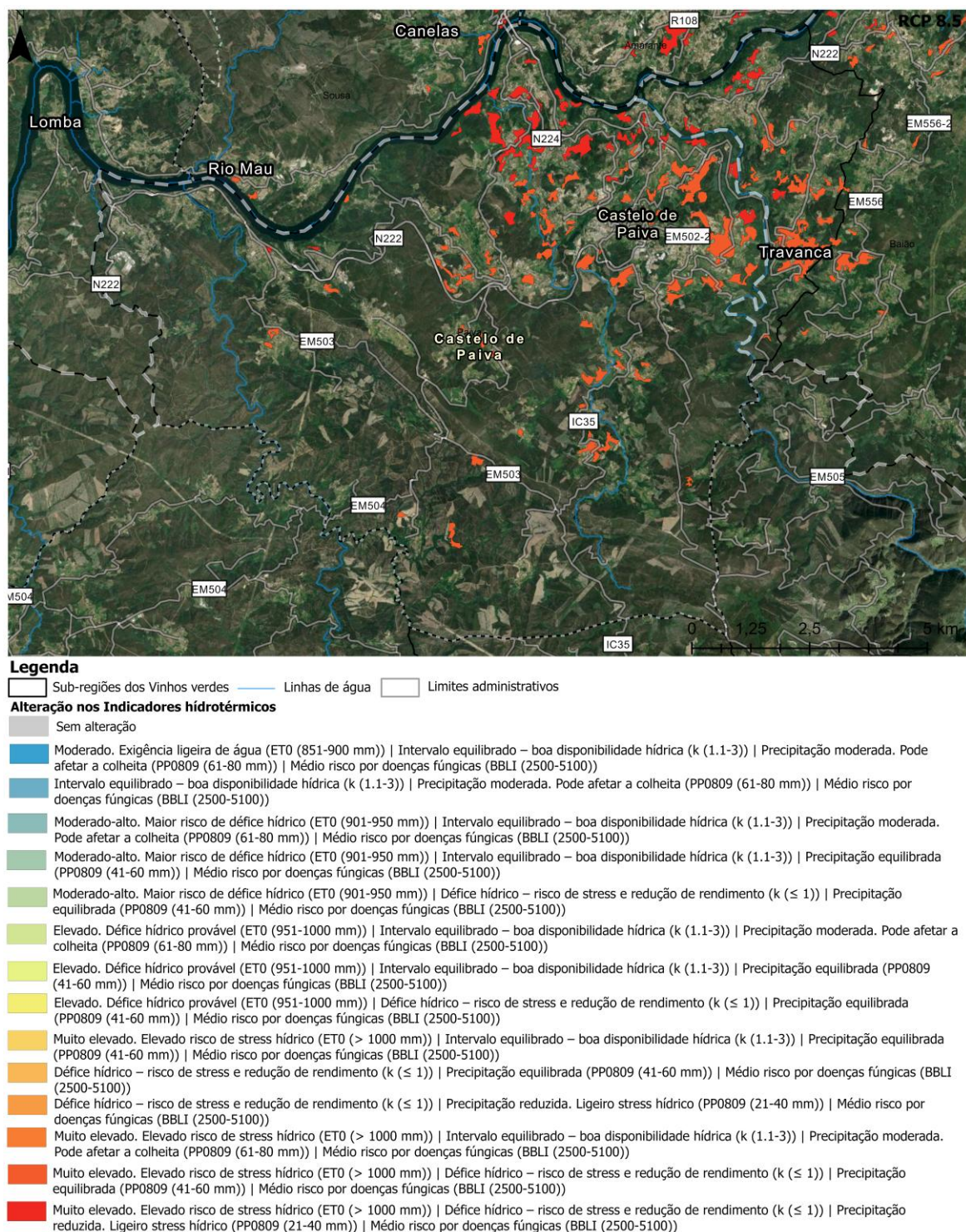


Figura A3.17. Alteração nos indicadores hidrotérmicos para o RCP 8.5 na sub-região do Paiva.

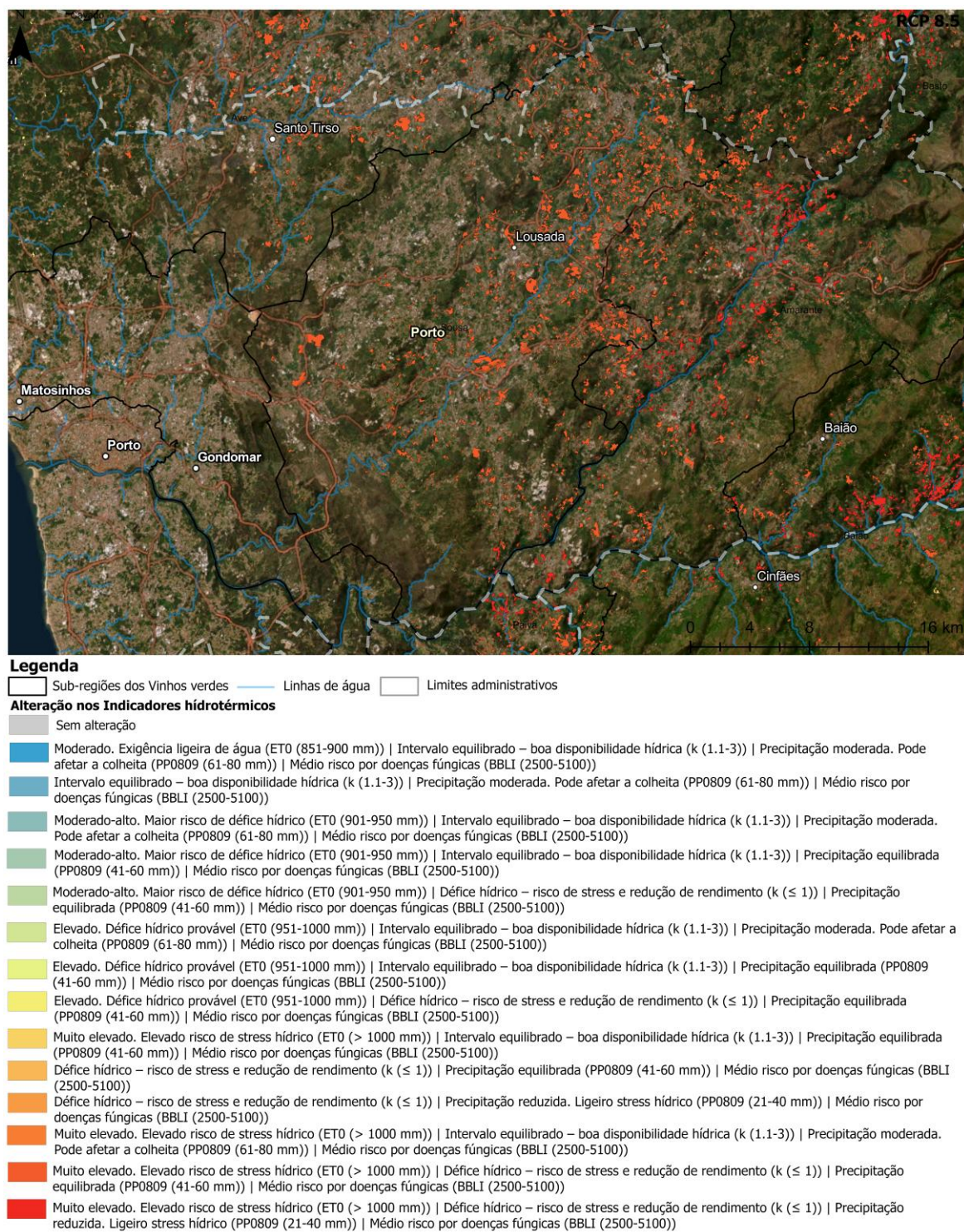


Figura A3.18. Alteração nos indicadores hidrotérmicos para o RCP 8.5 na sub-região do Sousa.

ANEXO IV – Indicadores agroclimáticos compostos

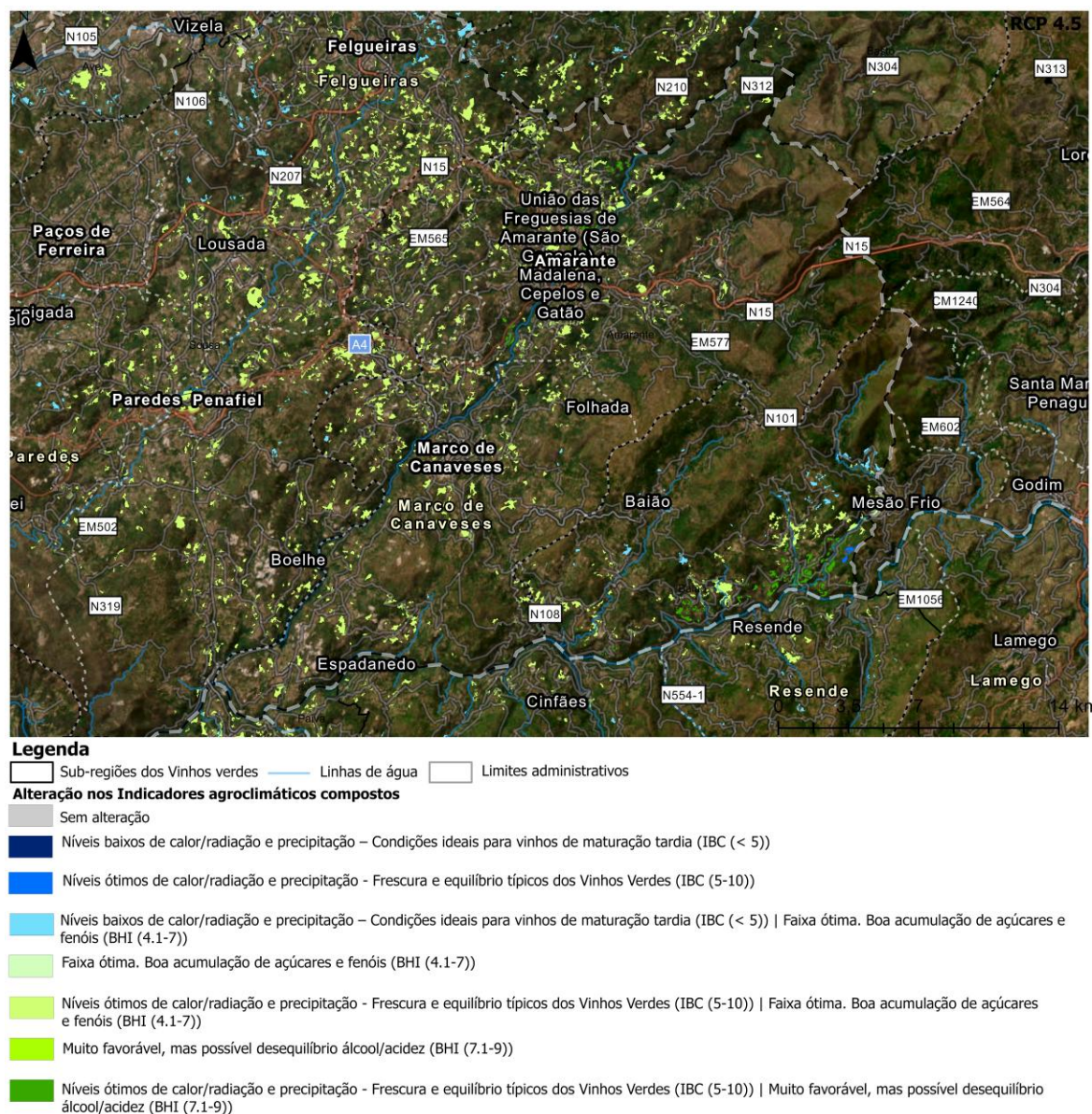


Figura A4.1. Alteração nos indicadores agroclimáticos compostos para o RCP 4.5 na sub-região de Amaranthe.

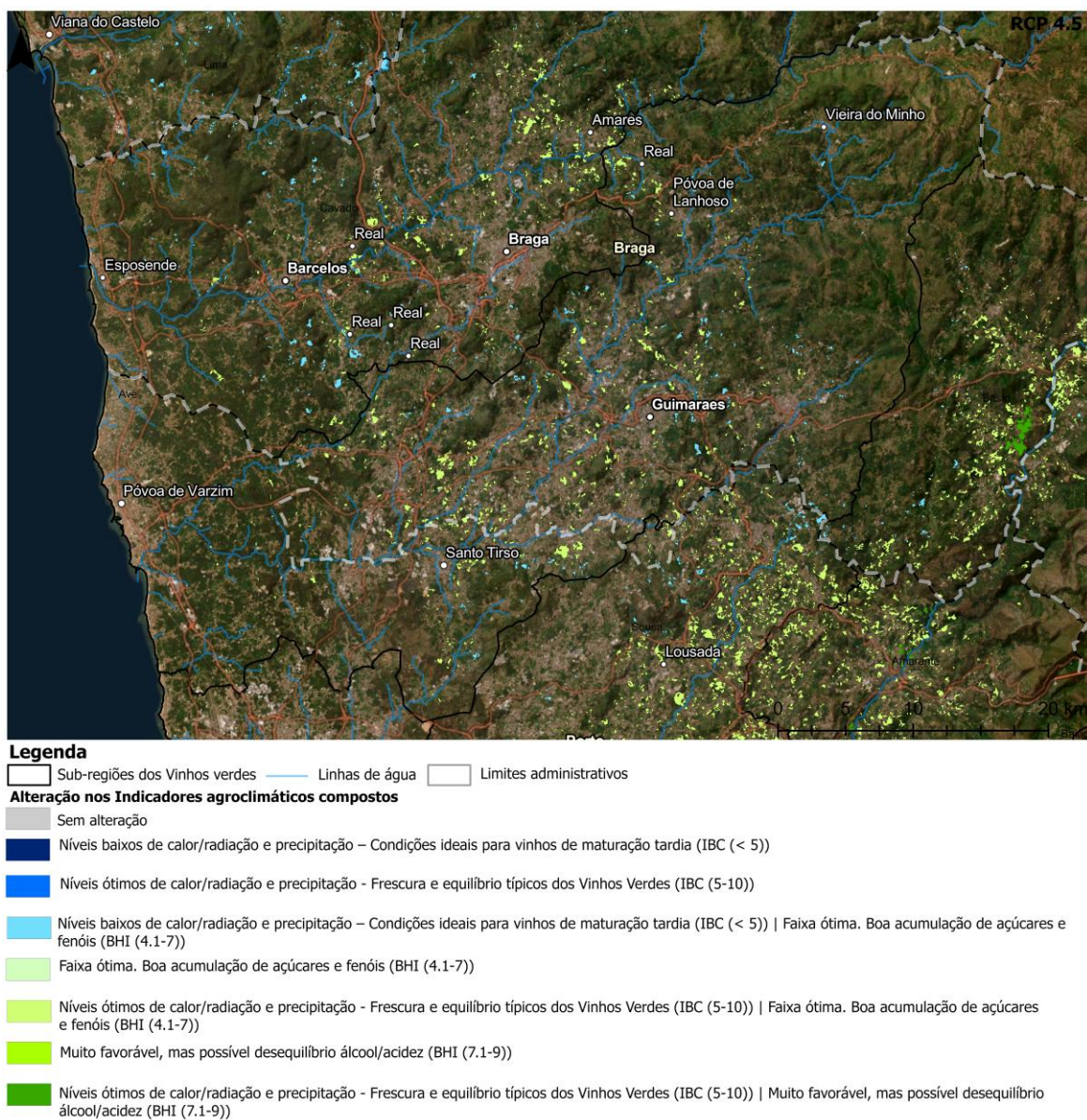


Figura A4.2. Alteração nos indicadores agroclimáticos compostos para o RCP 4.5 na sub-região do Ave.

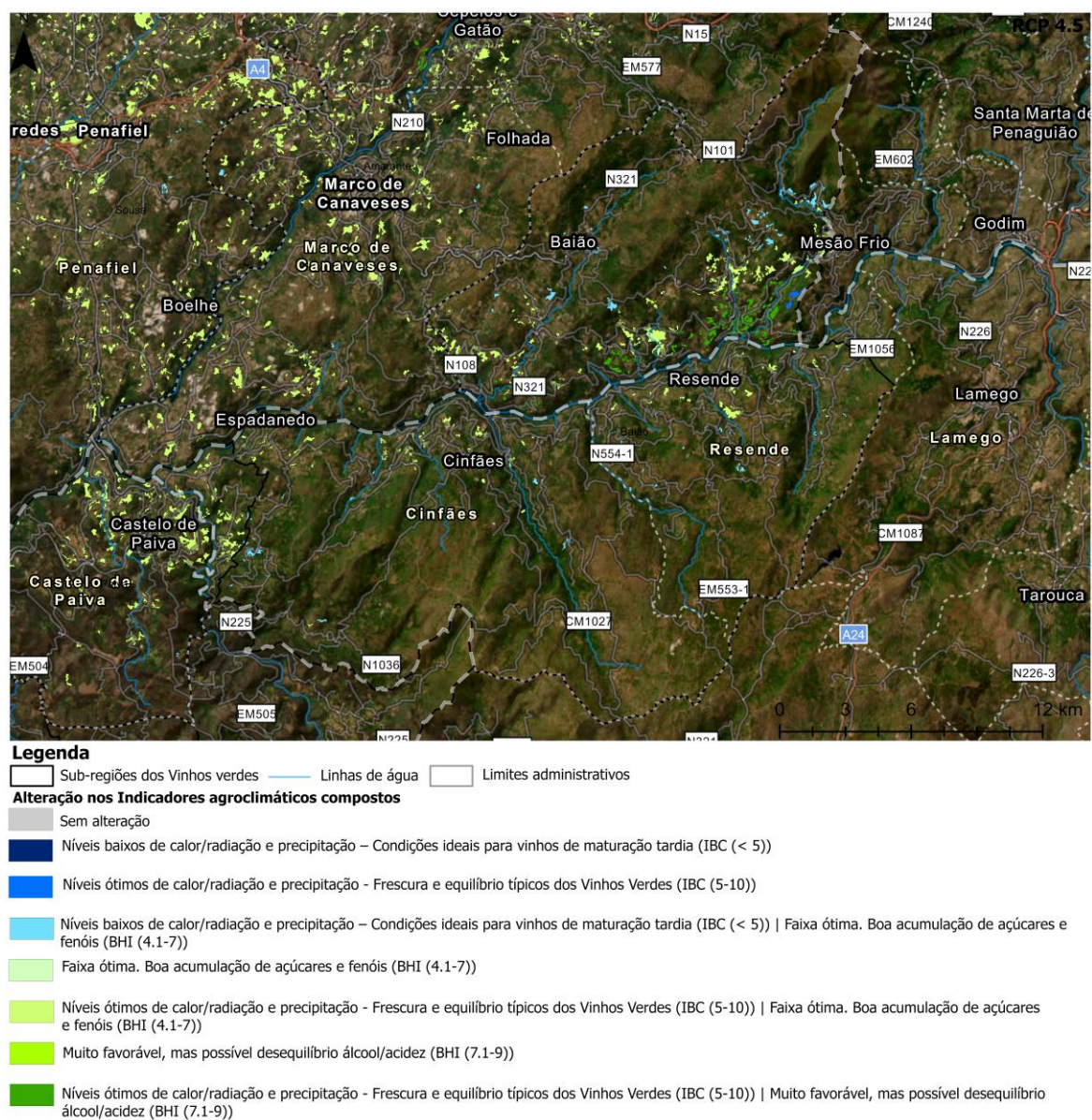


Figura A4.3. Alteração nos indicadores agroclimáticos compostos para o RCP 4.5 na sub-região de Baião.

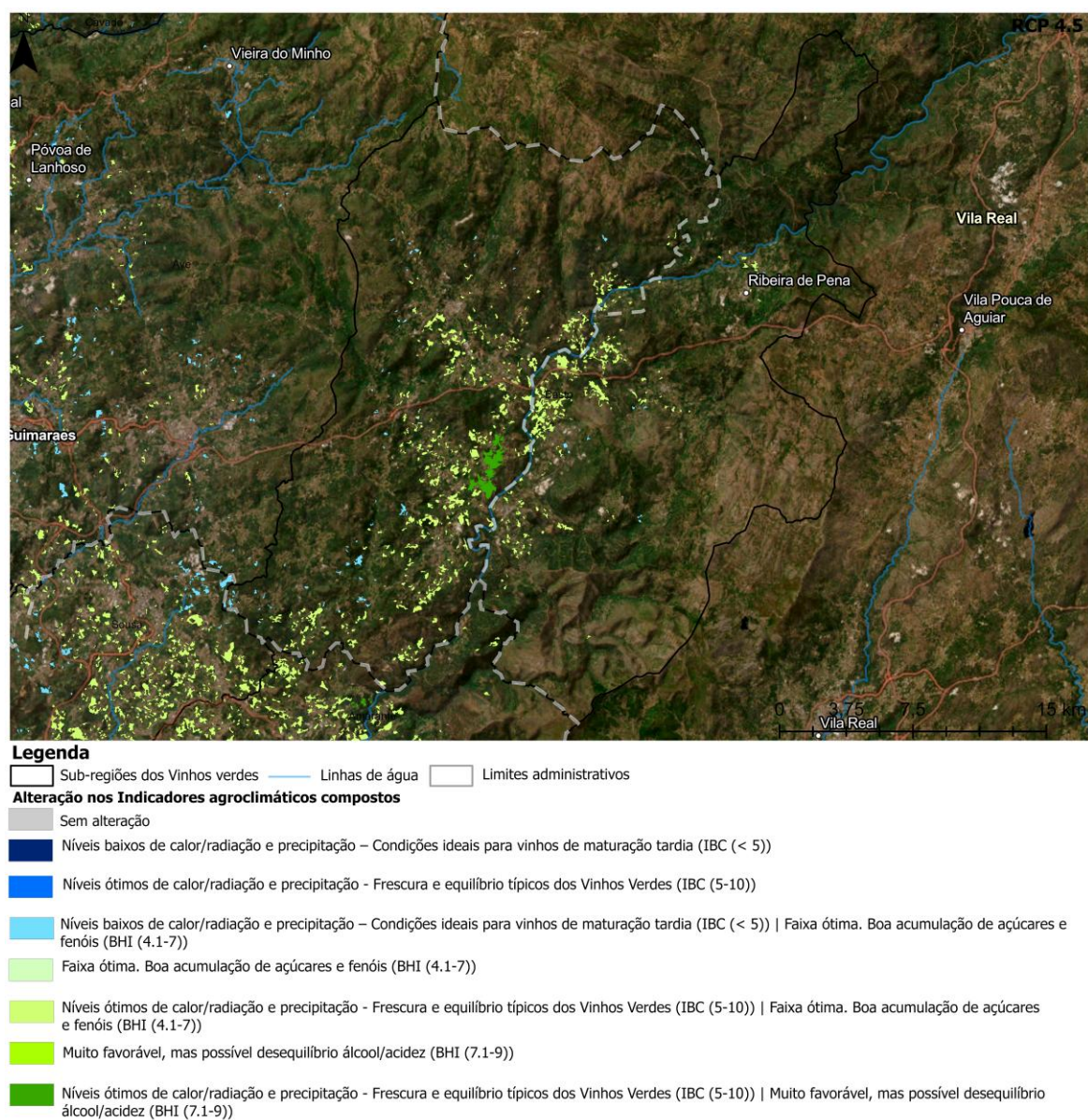


Figura A4.4. Alteração nos indicadores agroclimáticos compostos para o RCP 4.5 na sub-região de Basto.

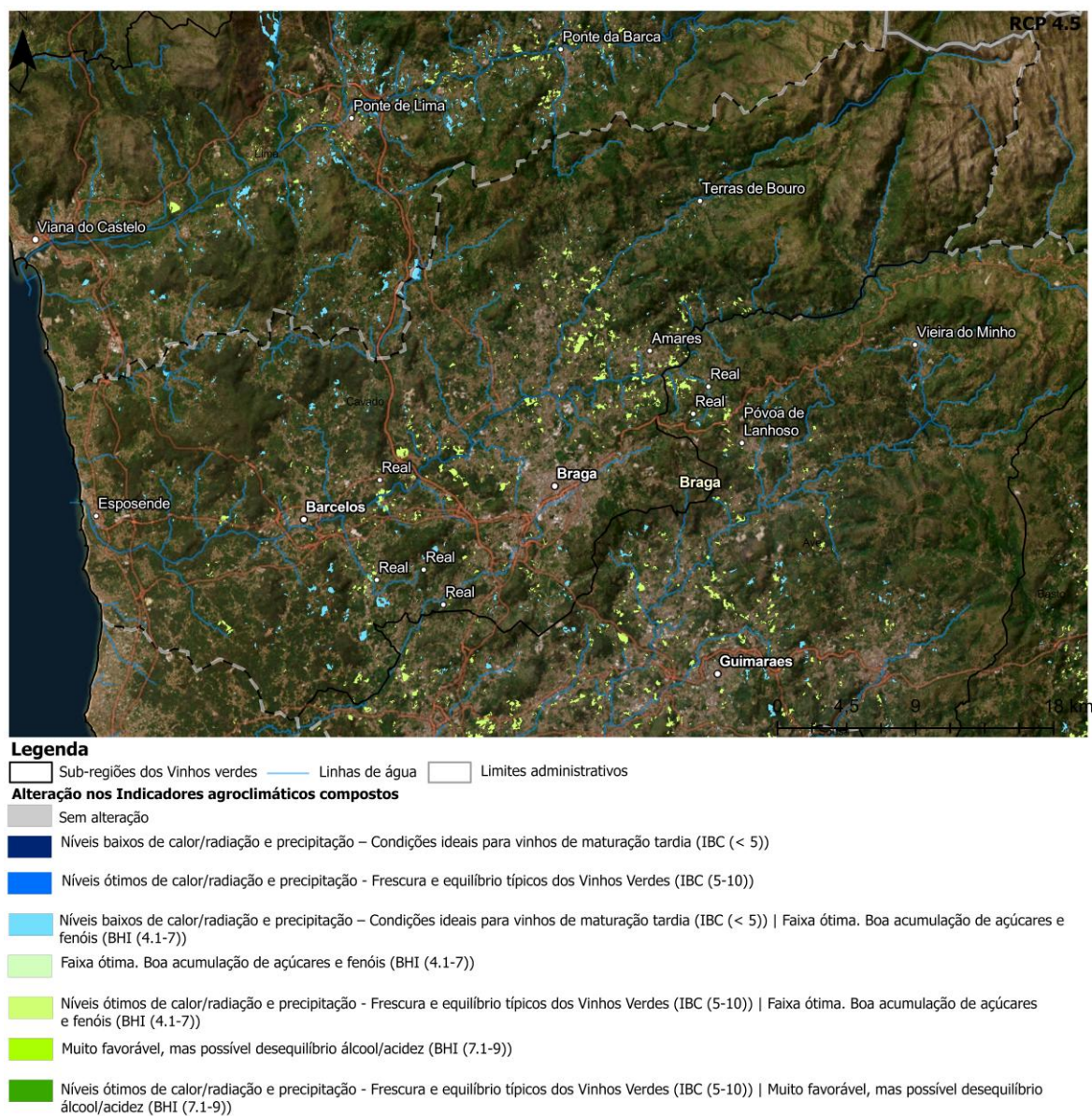


Figura A4.5. Alteração nos indicadores agroclimáticos compostos para o RCP 4.5 na sub-região do Cávado.

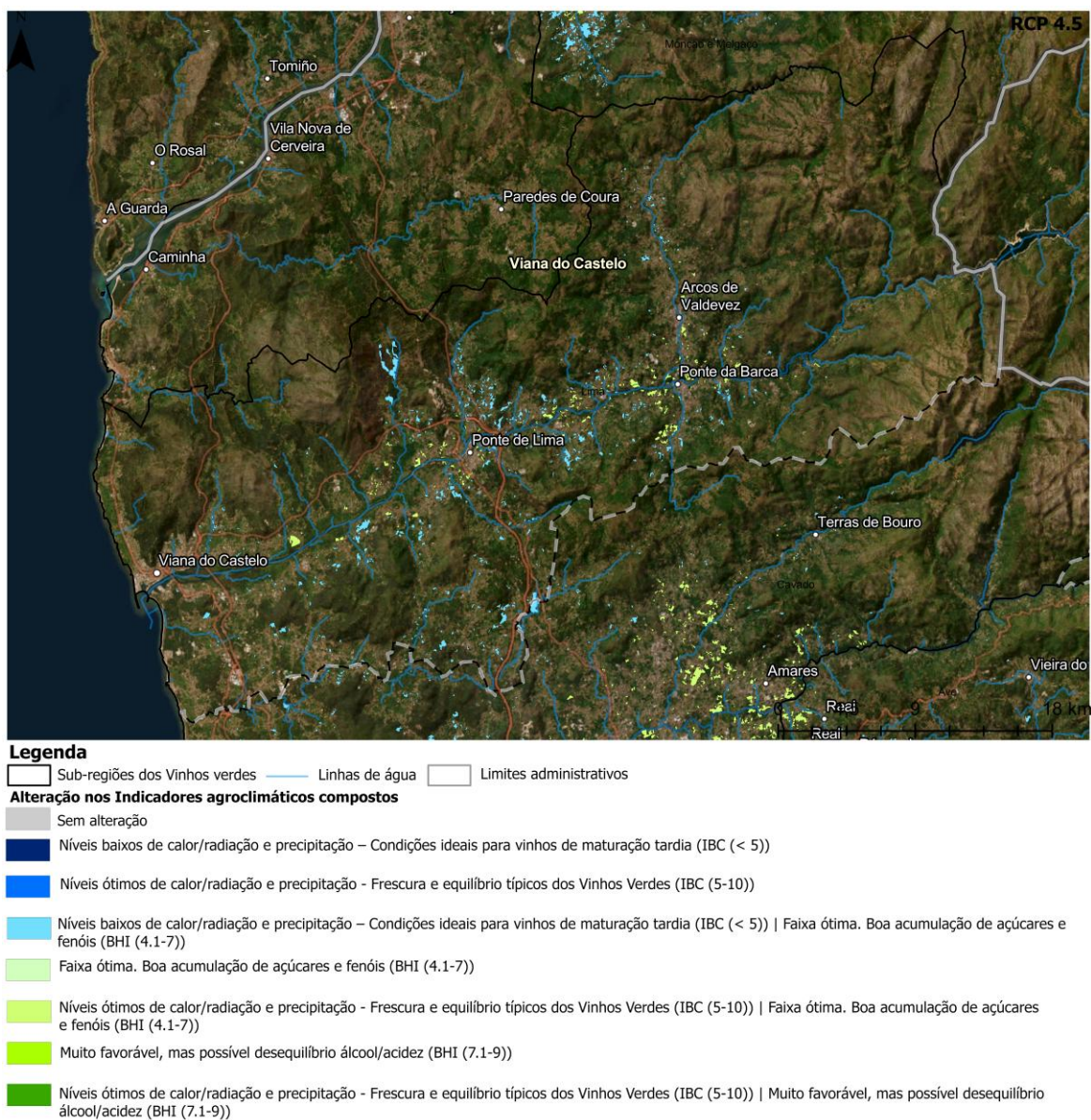


Figura A4.6. Alteração nos indicadores agroclimáticos compostos para o RCP 4.5 na sub-região do Lima.

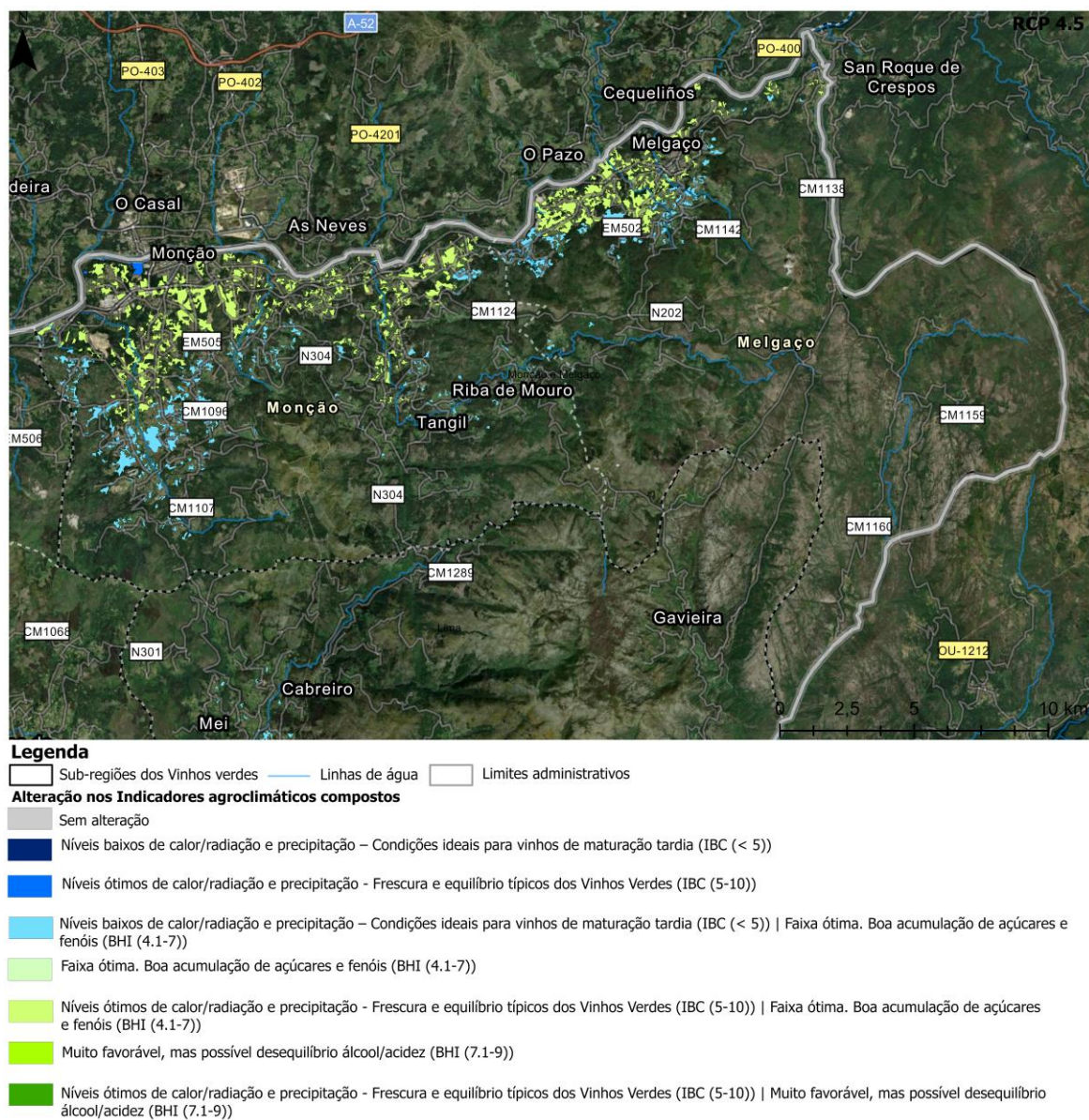


Figura A4.7. Alteração nos indicadores agroclimáticos compostos para o RCP 4.5 na sub-região de Monção e Melgaço.

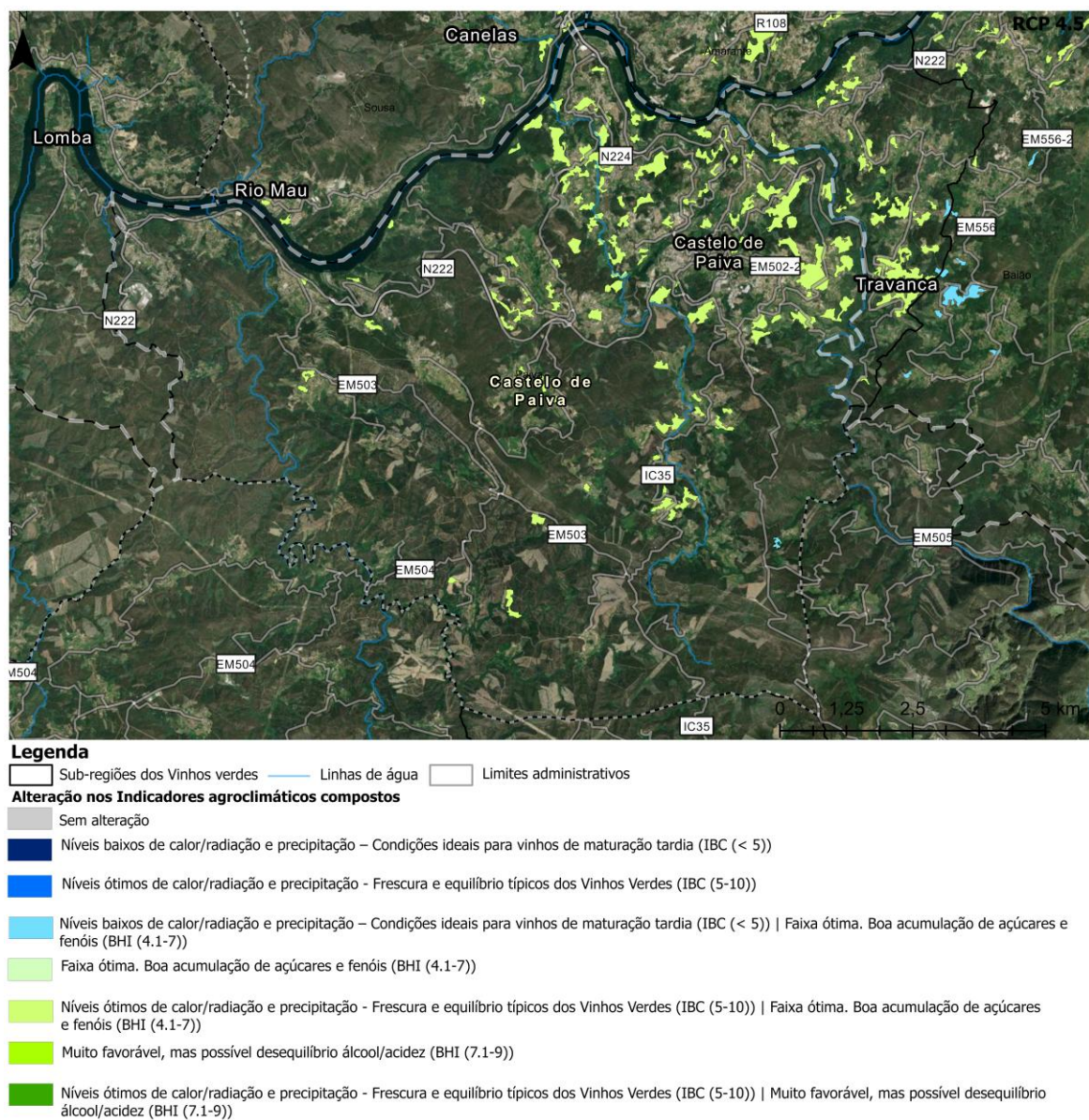


Figura A4.8. Alteração nos indicadores agroclimáticos compostos para o RCP 4.5 na sub-região do Paiva.

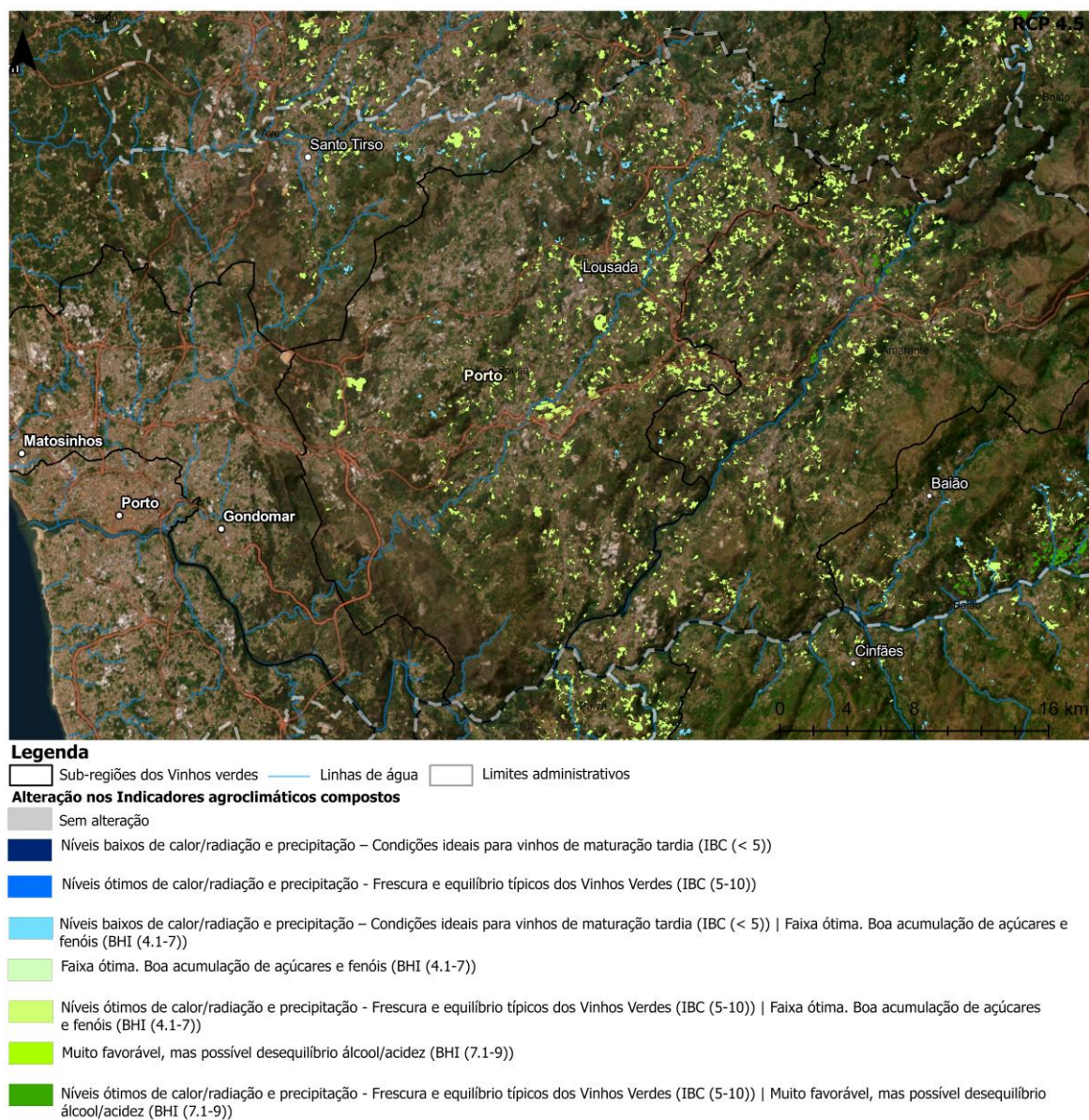


Figura A4.9. Alteração nos indicadores agroclimáticos compostos para o RCP 4.5 na sub-região do Sousa.

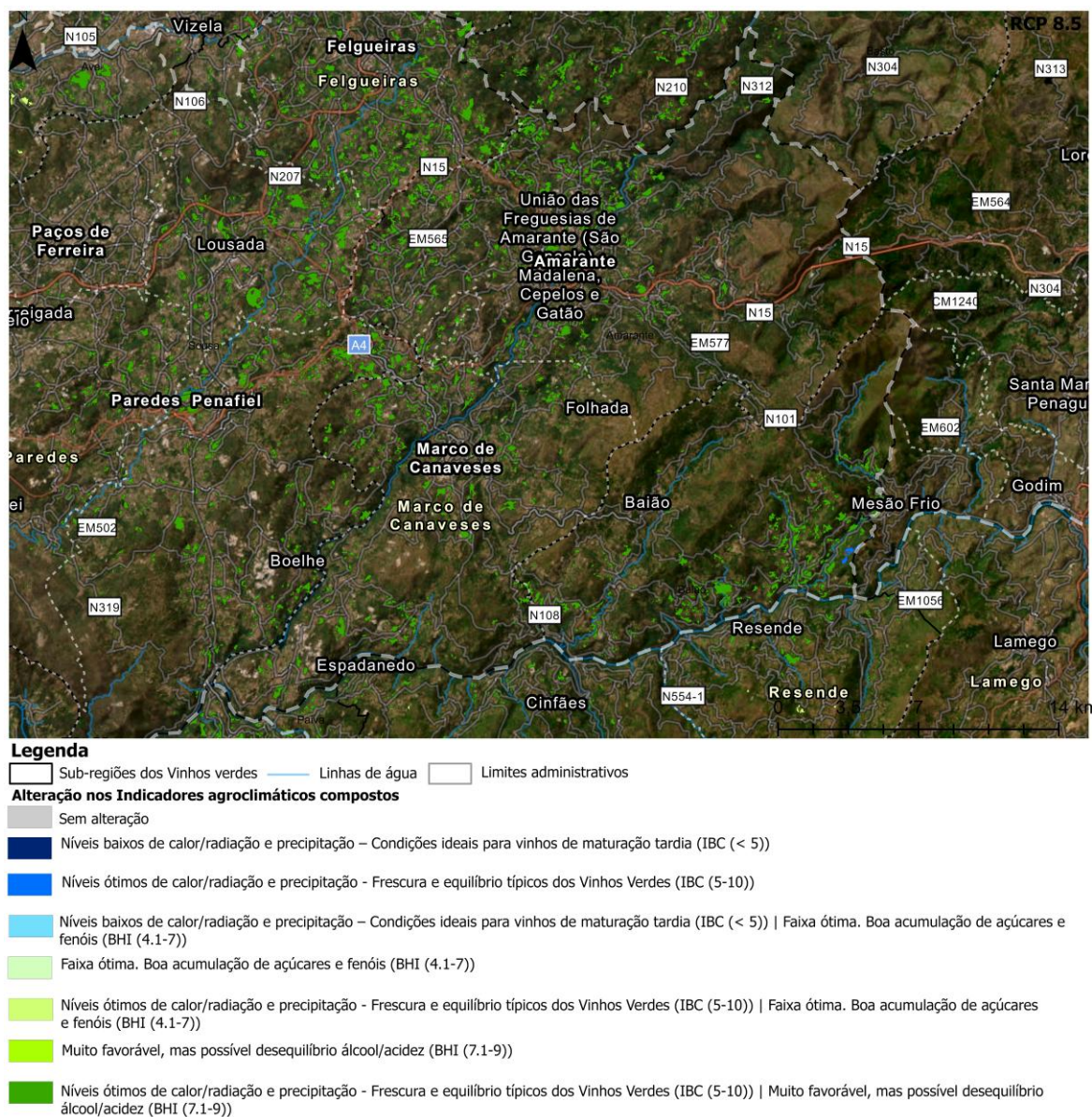


Figura A4.10. Alteração nos indicadores agroclimáticos compostos para o RCP 8.5 na sub-região de Amarante.

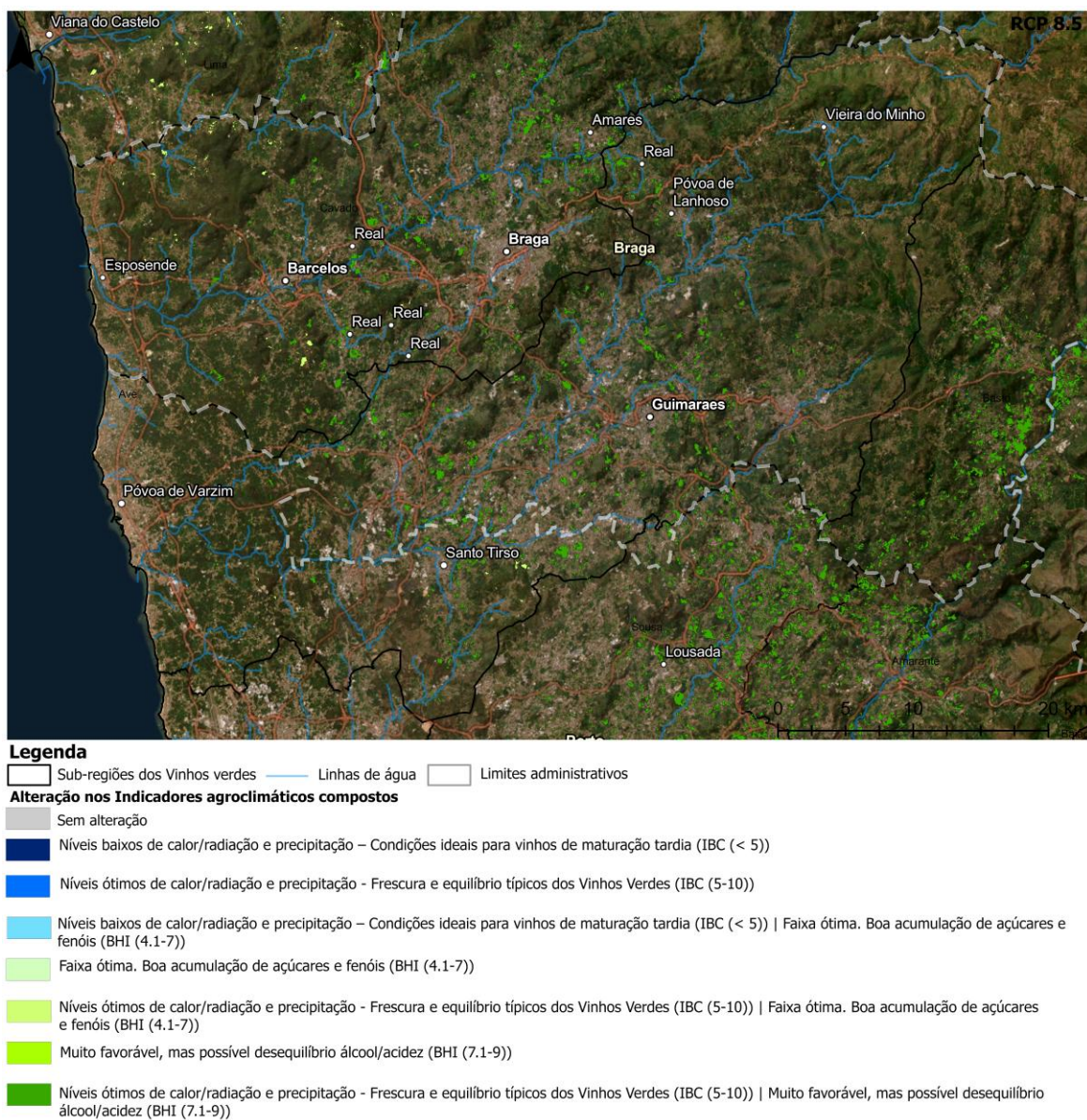


Figura A4.11. Alteração nos indicadores agroclimáticos compostos para o RCP 8.5 na sub-região de Ave.

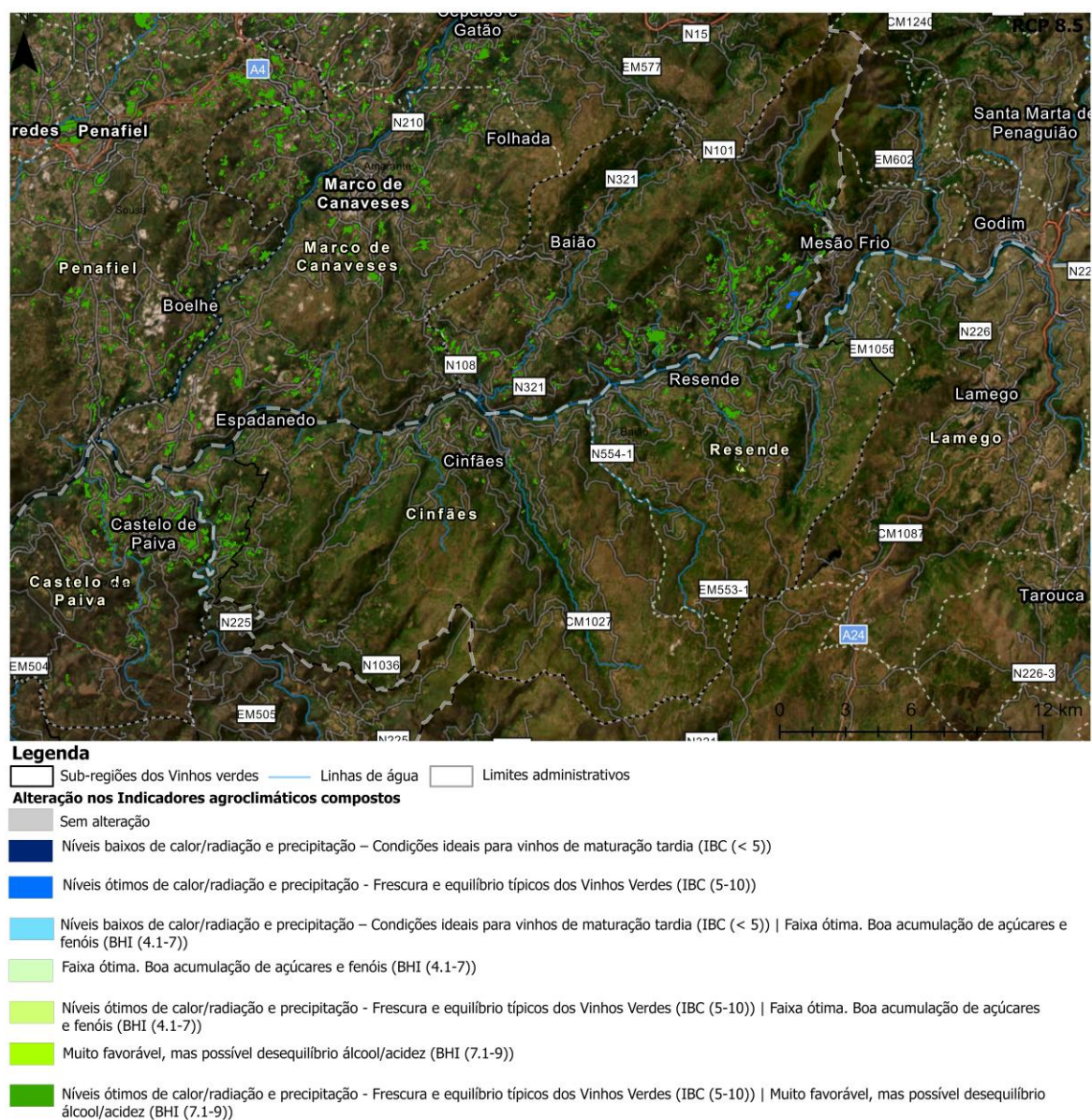


Figura A4.12. Alteração nos indicadores agroclimáticos compostos para o RCP 8.5 na sub-região de Baião.

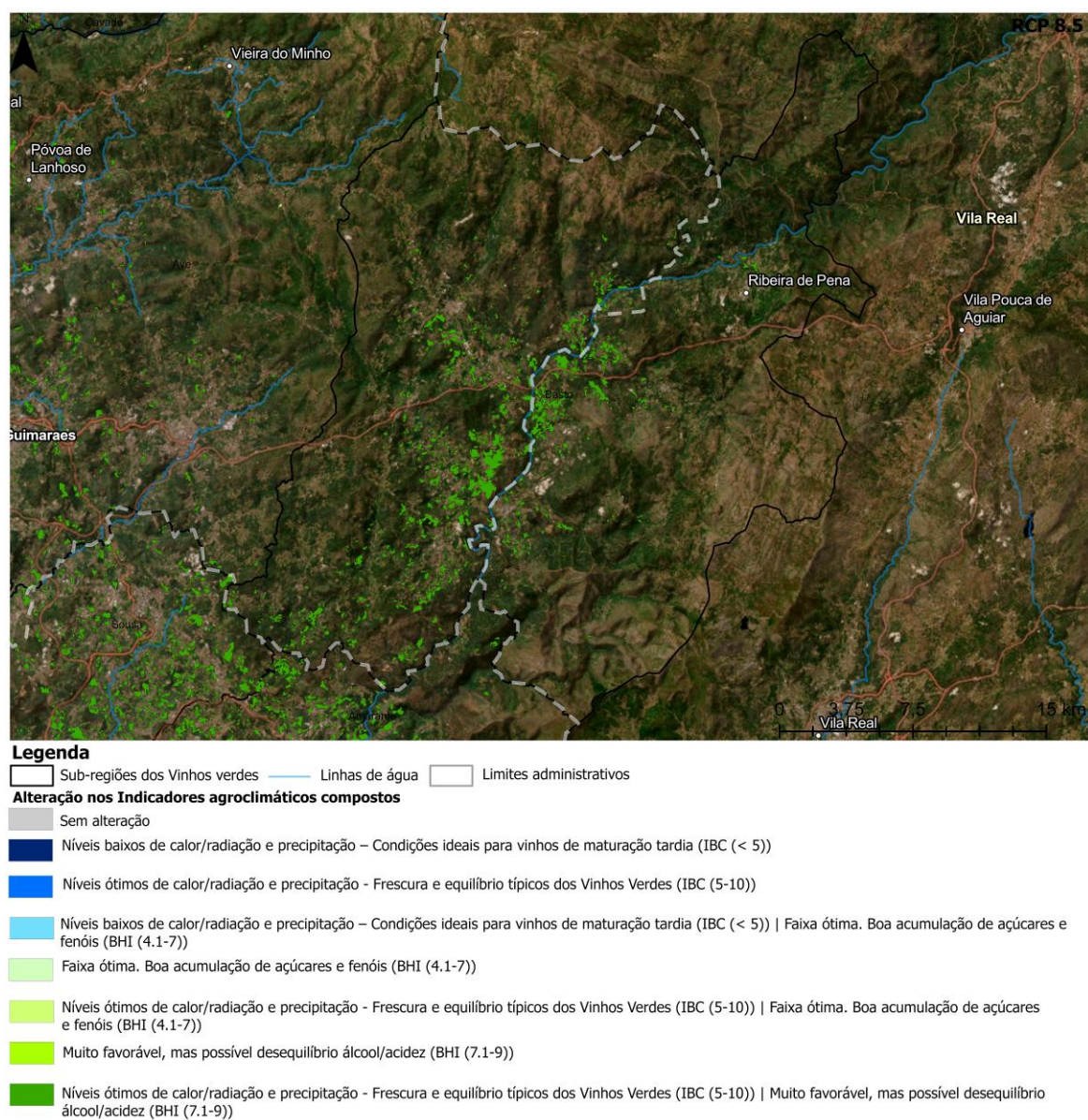


Figura A4.13. Alteração nos indicadores agroclimáticos compostos para o RCP 8.5 na sub-região de Basto.

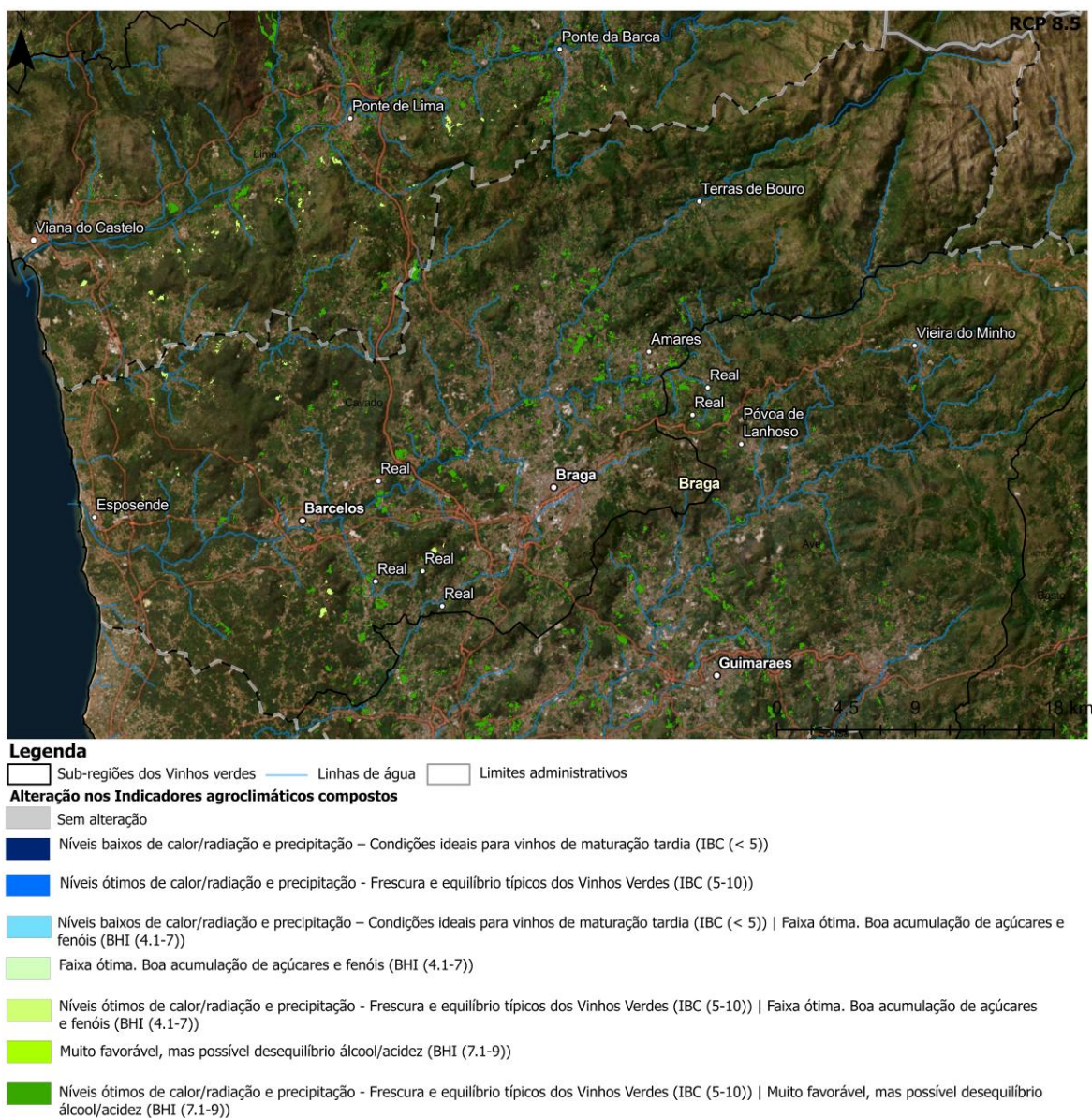


Figura A4.14. Alteração nos indicadores agroclimáticos compostos para o RCP 8.5 na sub-região do Cávado.

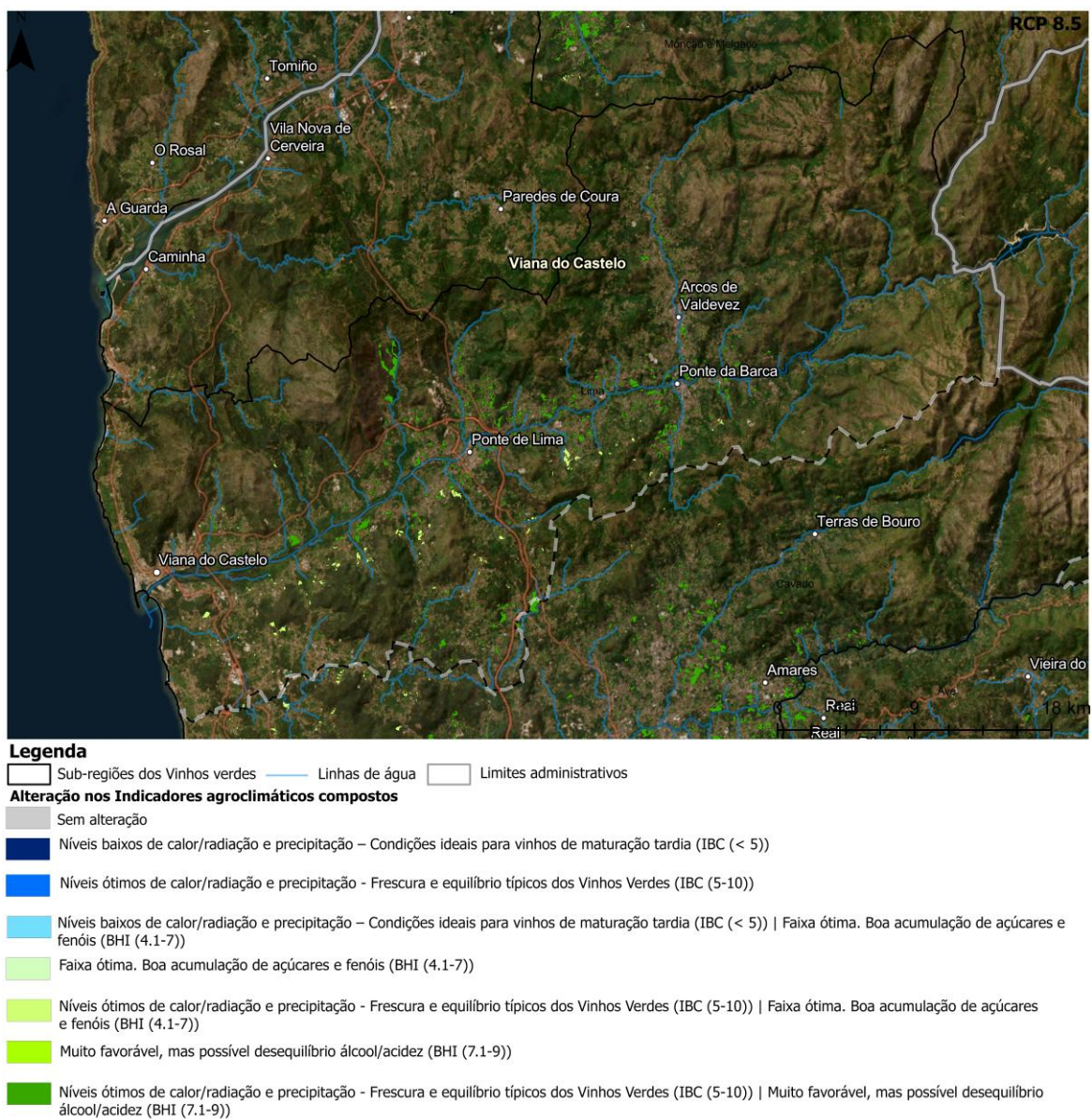


Figura A4.15. Alteração nos indicadores agroclimáticos compostos para o RCP 8.5 na sub-região do Lima.

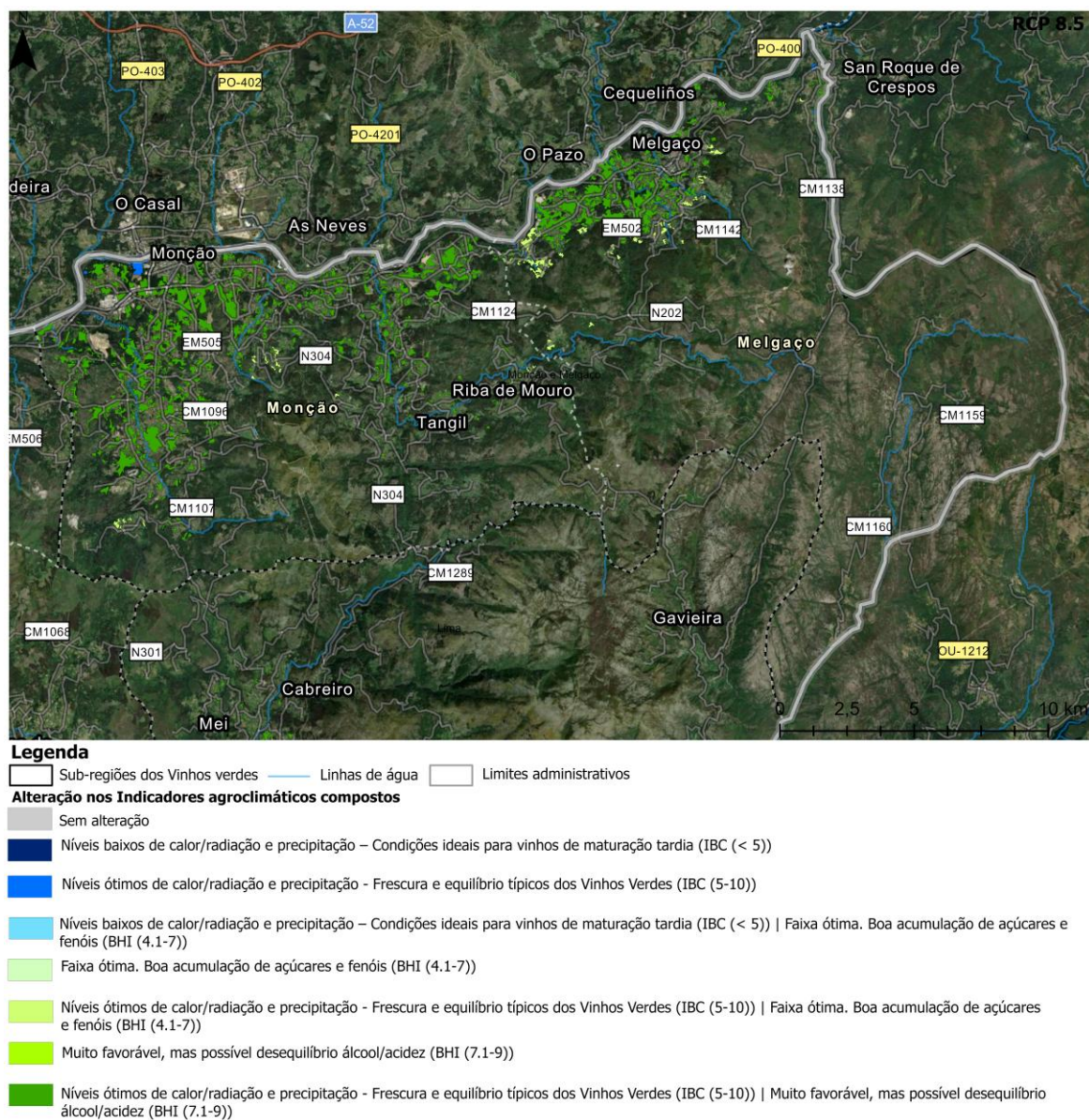


Figura A4.16. Alteração nos indicadores agroclimáticos compostos para o RCP 8.5 na sub-região de Monção e Melgaço.

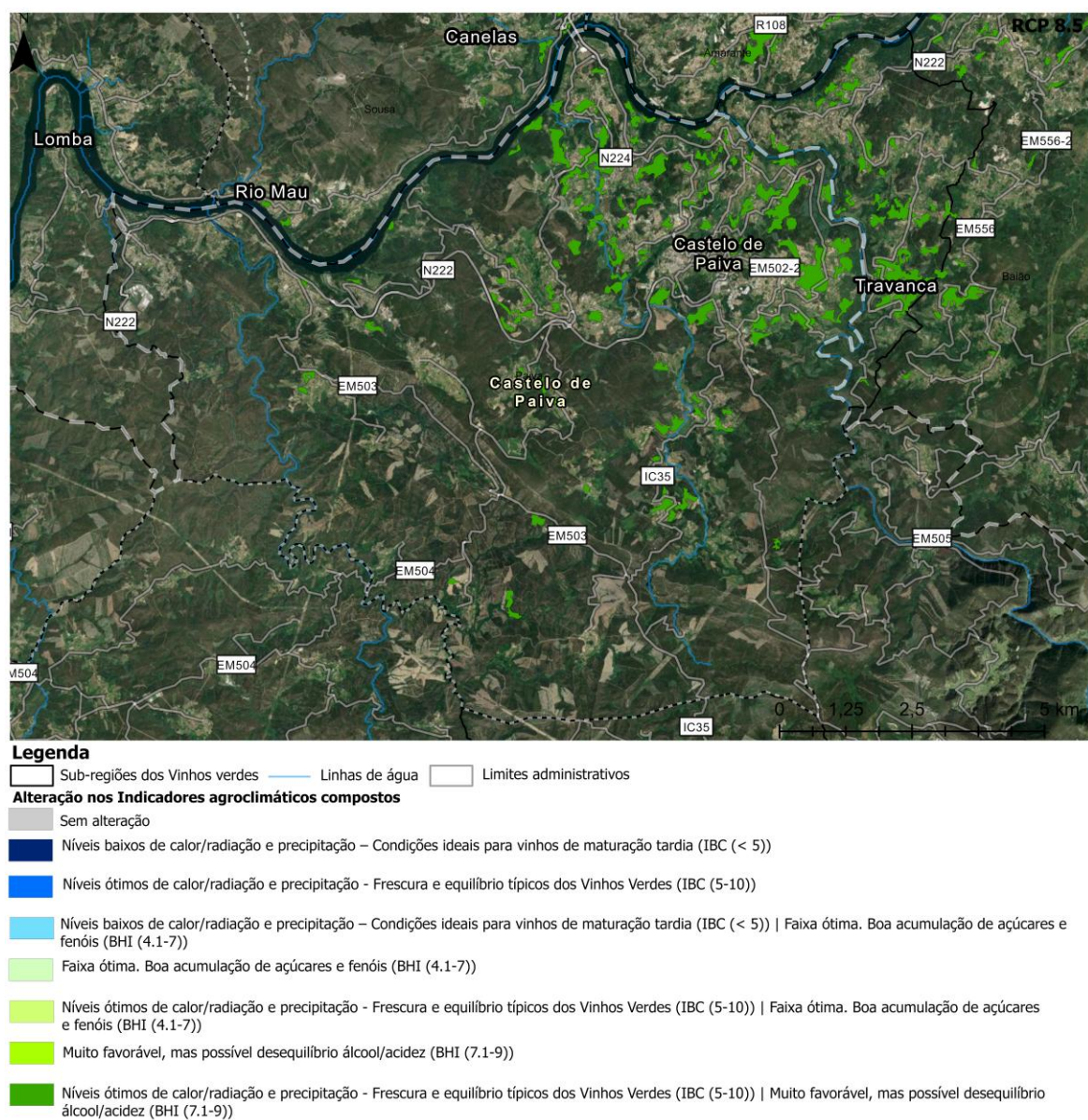


Figura A4.17. Alteração nos indicadores agroclimáticos compostos para o RCP 8.5 na sub-região do Paiva.



Figura A4.18. Alteração nos indicadores agroclimáticos compostos para o RCP 8.5 na sub-região do Sousa.

ANEXO V – Intensidade da alteração bioclimática

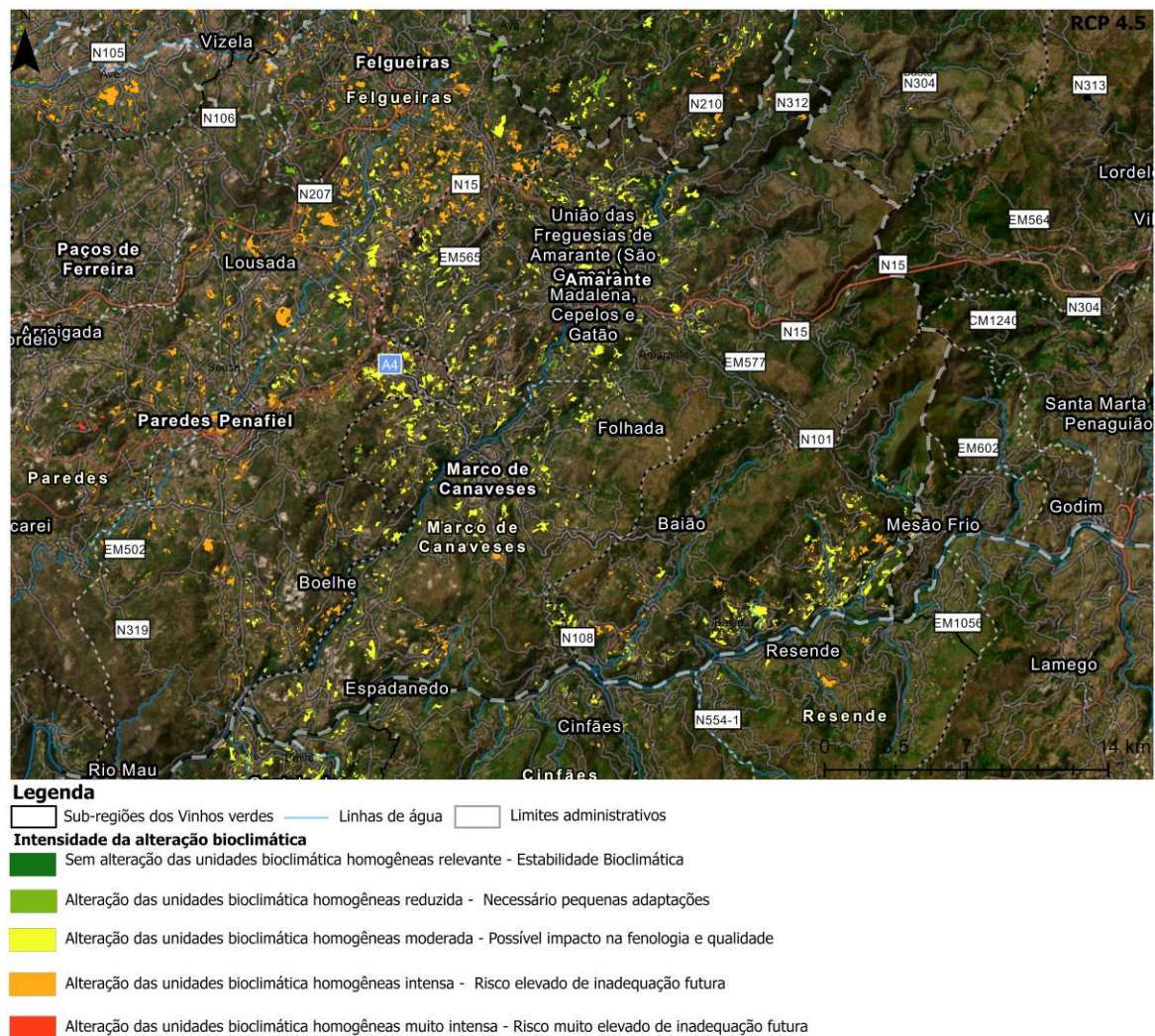


Figura A5.1. Alteração na intensidade bioclimática para o RCP 4.5 na sub-região de Amarante.

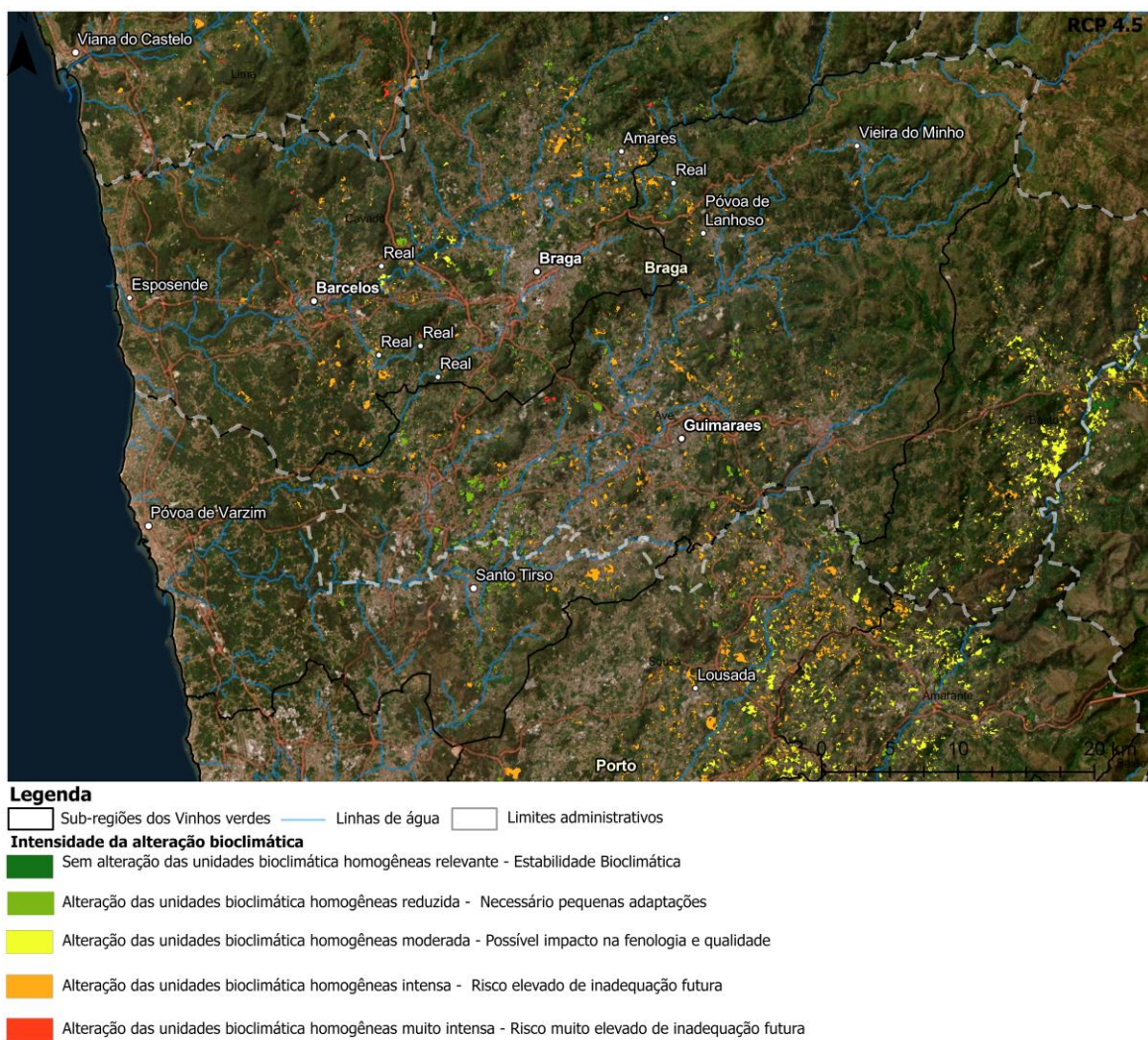


Figura A5.2. Alteração na intensidade bioclimática para o RCP 4.5 na sub-região do Ave.

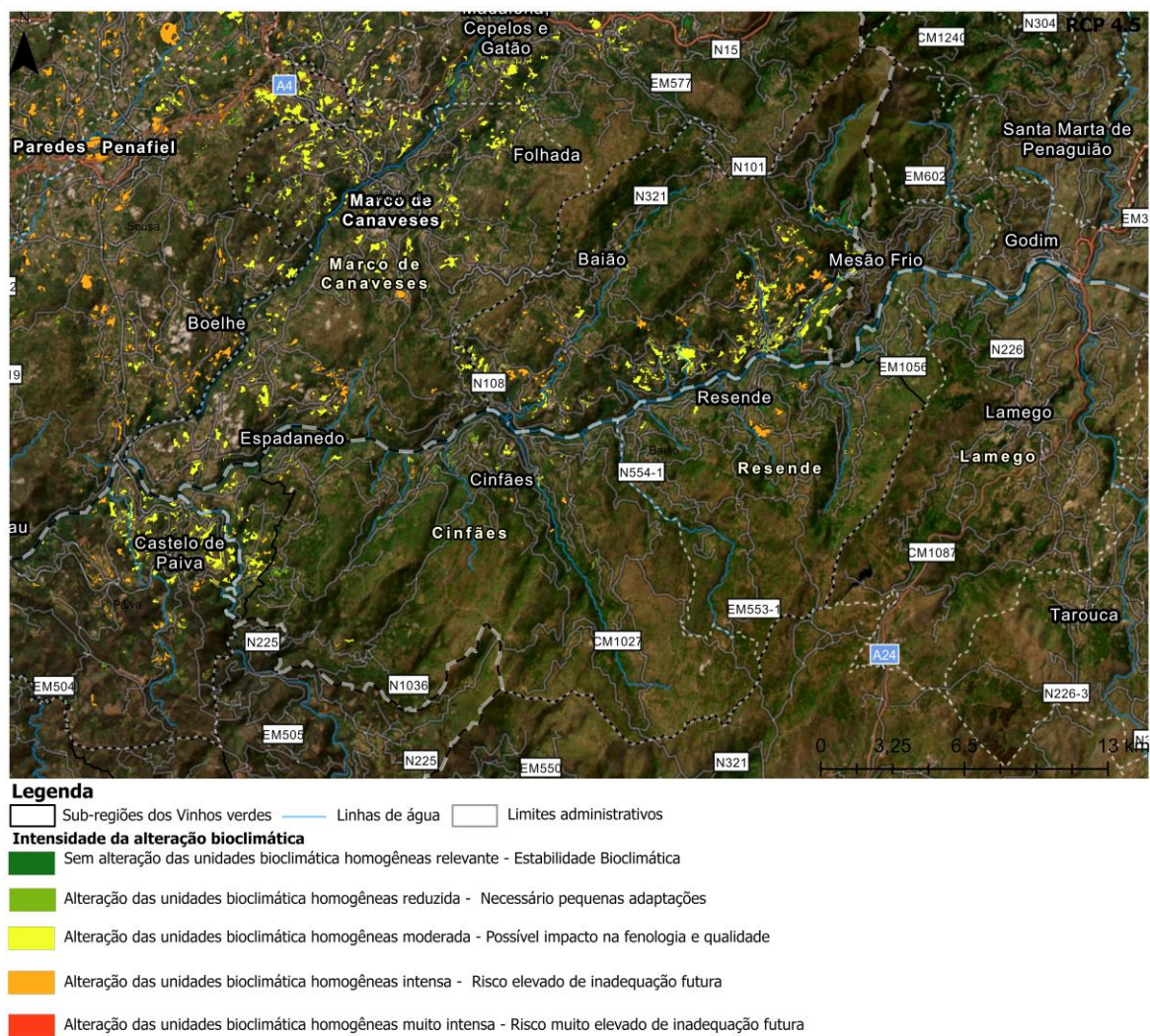


Figura A5.3. Alteração na intensidade bioclimática para o RCP 4.5 na sub-região de Baião.

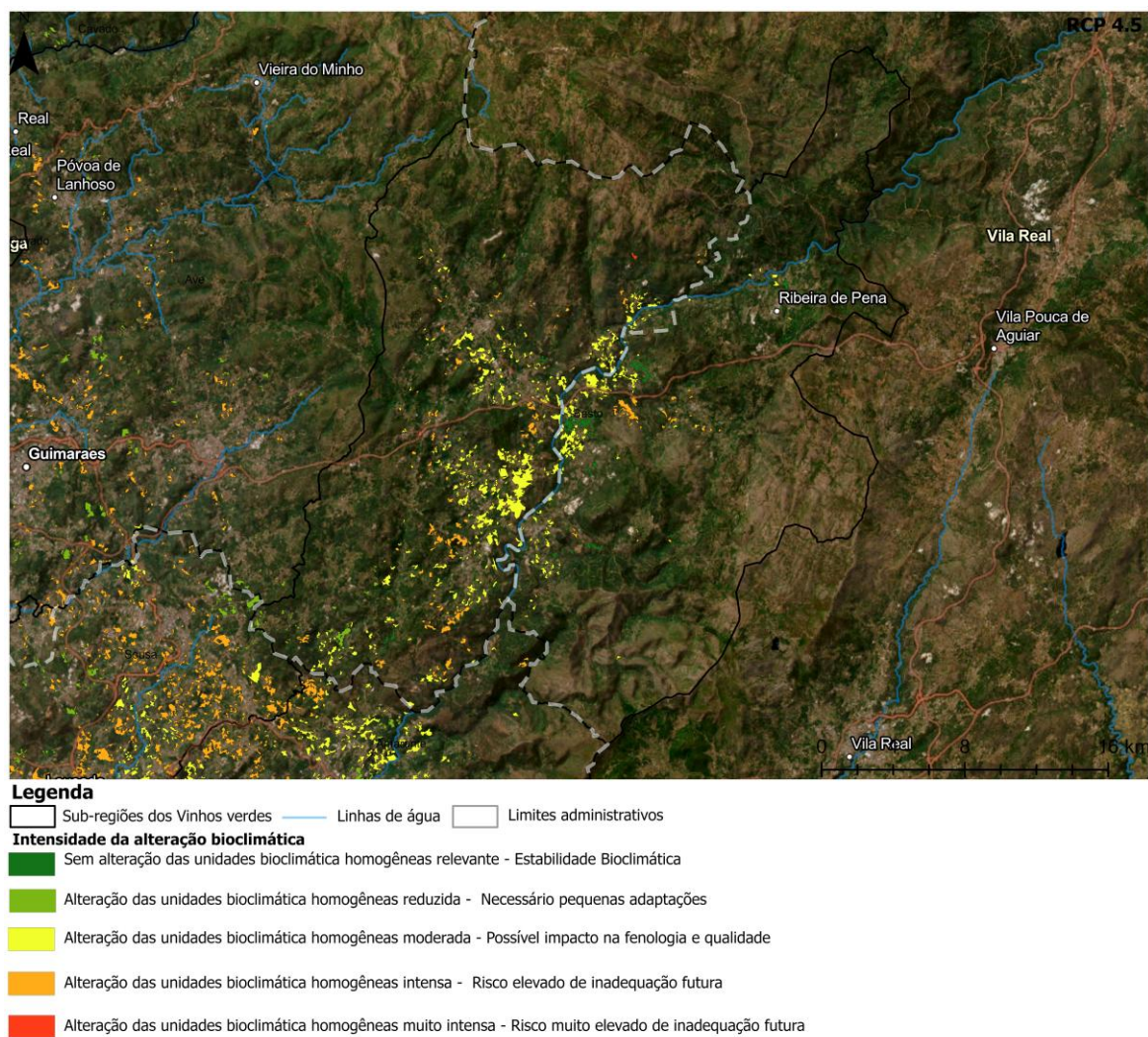


Figura A5.4. Alteração na intensidade bioclimática para o RCP 4.5 na sub-região de Basto.



Figura A5.5. Alteração na intensidade bioclimática para o RCP 4.5 na sub-região do Cávado.

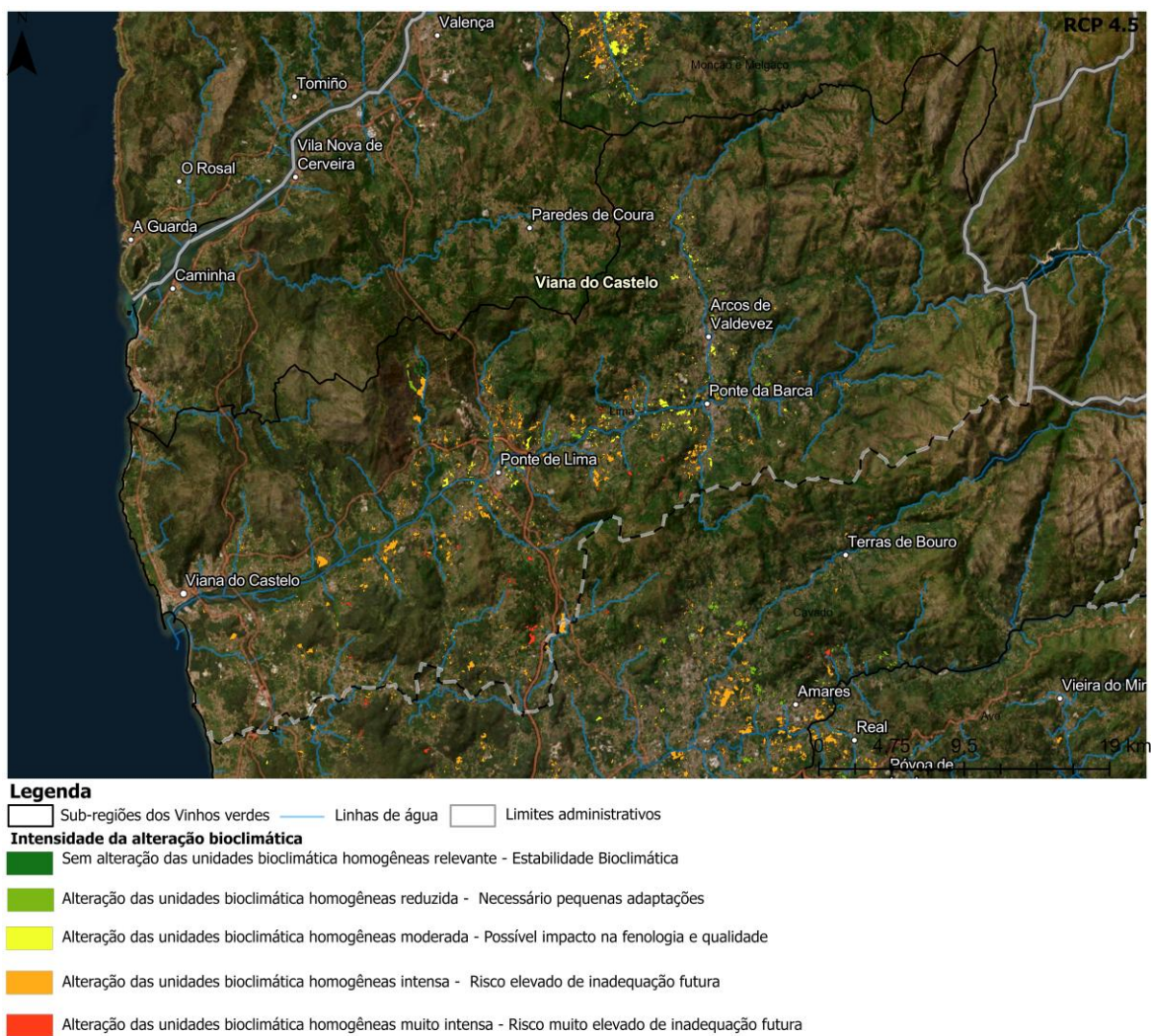


Figura A5.6. Alteração na intensidade bioclimática para o RCP 4.5 na sub-região do Lima.

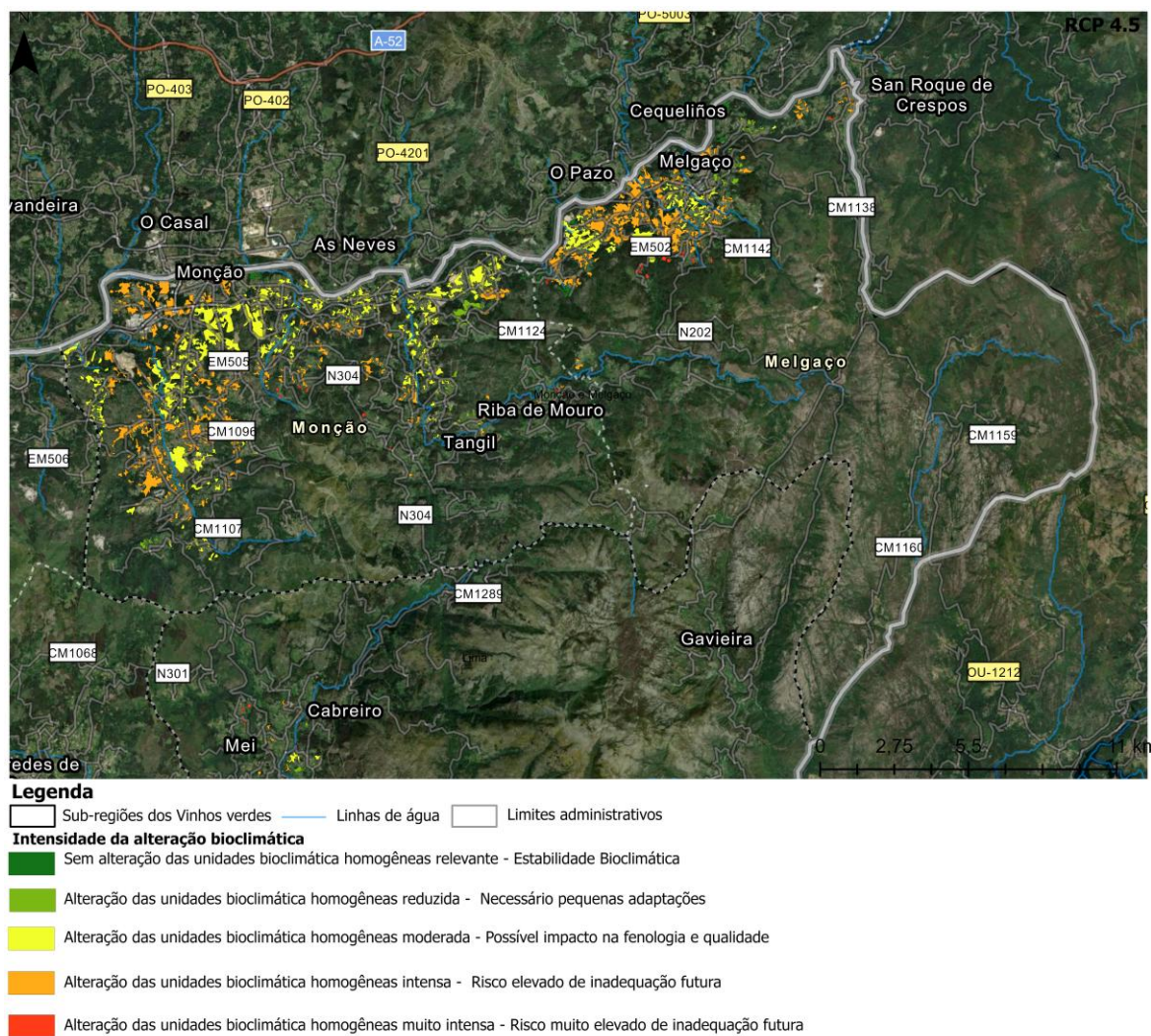


Figura A5.7. Alteração na intensidade bioclimática para o RCP 4.5 na sub-região de Monção e Melgaço.

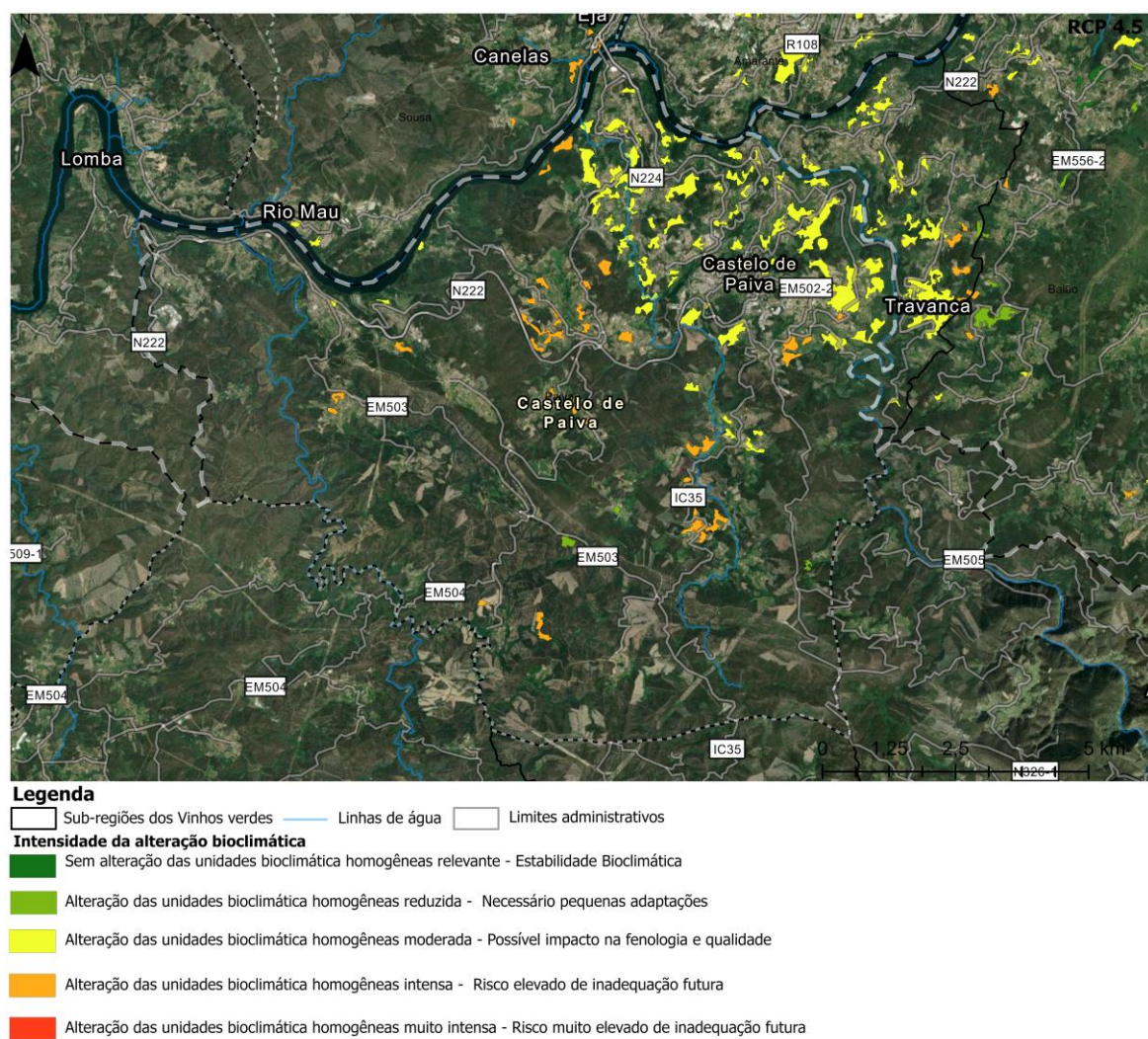


Figura A5.8. Alteração na intensidade bioclimática para o RCP 4.5 na sub-região do Paiva.

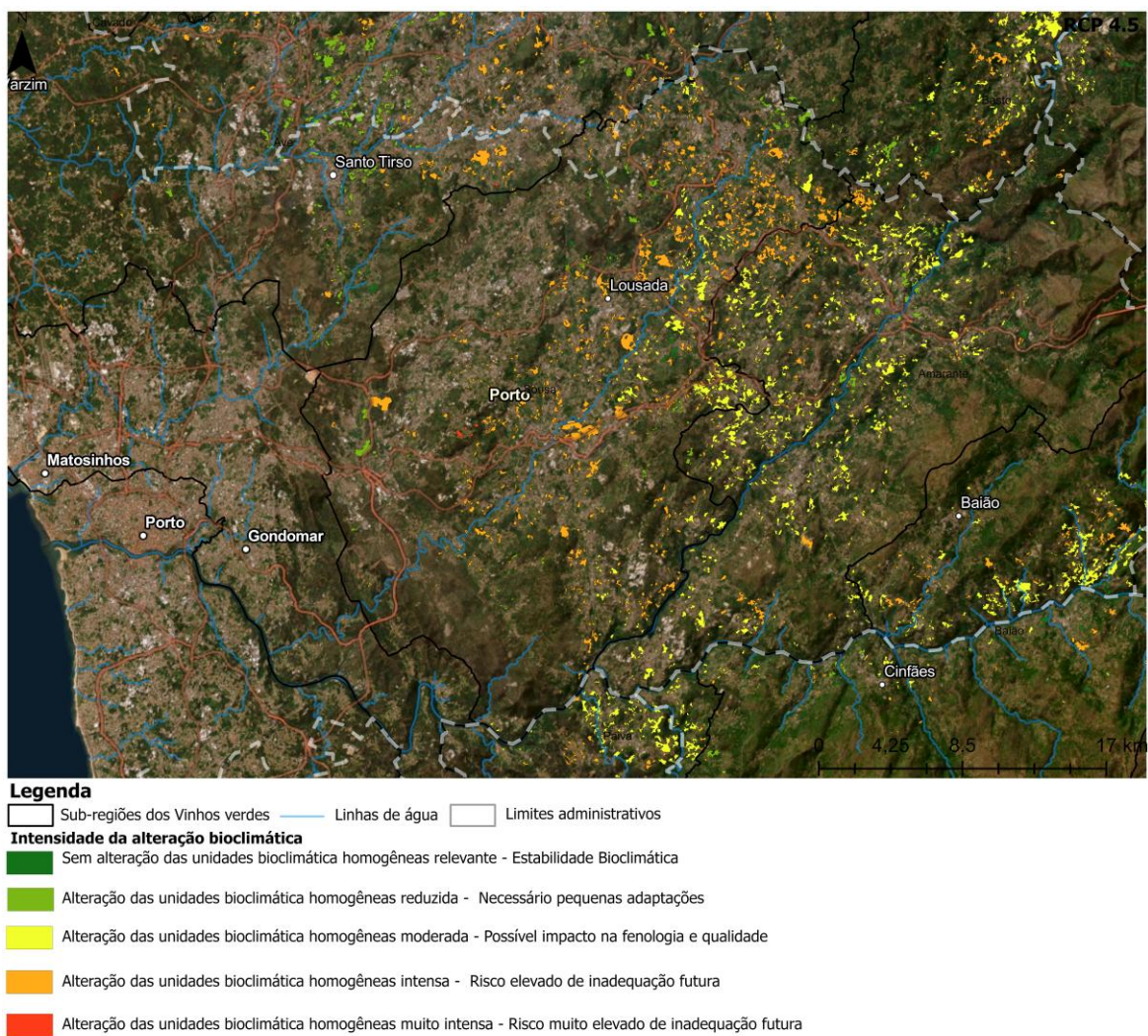


Figura A5.9. Alteração na intensidade bioclimática para o RCP 4.5 na sub-região do Sousa.

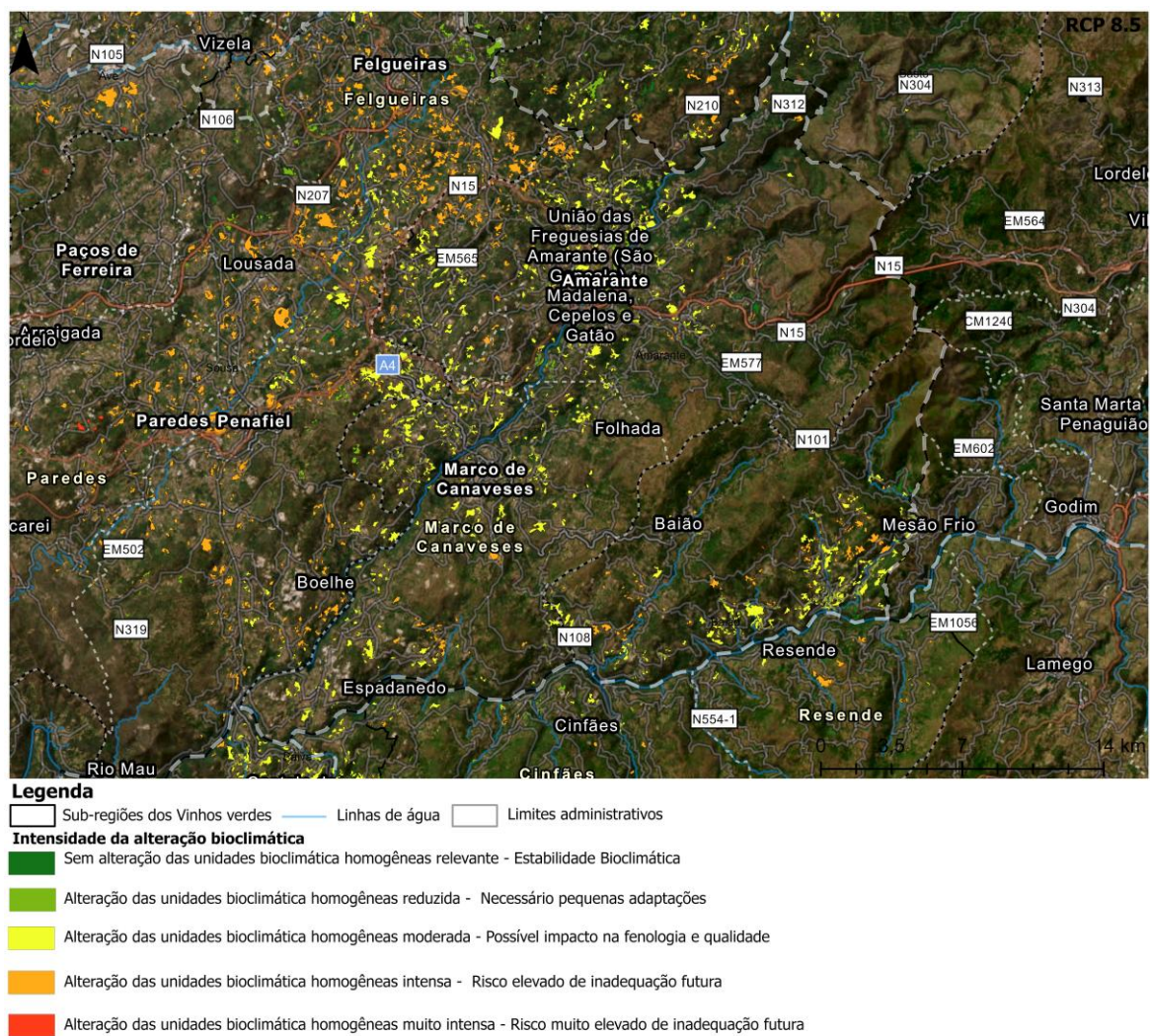


Figura A5.10. Alteração na intensidade bioclimática para o RCP 8.5 na sub-região de Amarante.

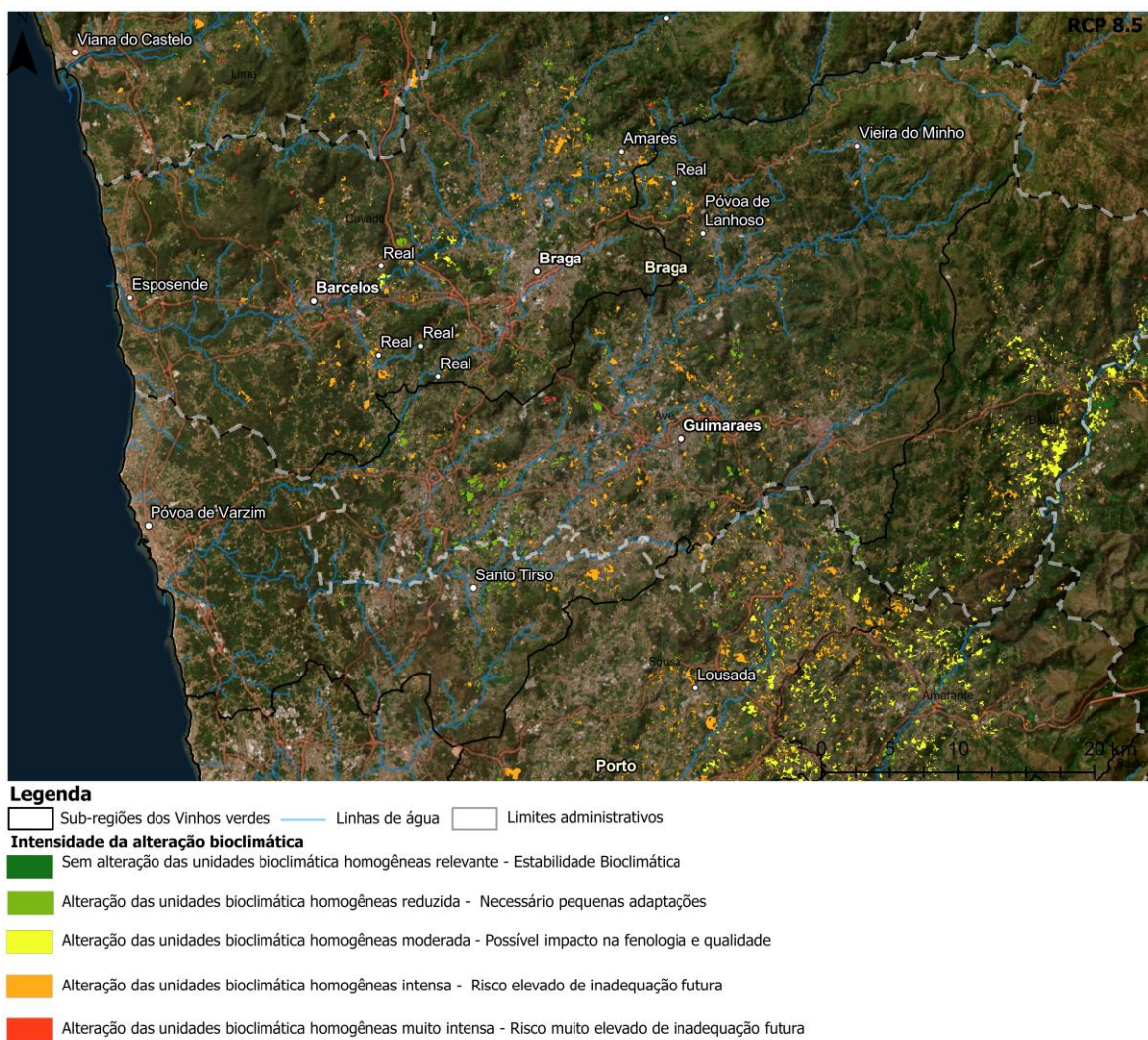


Figura A5.11. Alteração na intensidade bioclimática para o RCP 8.5 na sub-região do Ave.

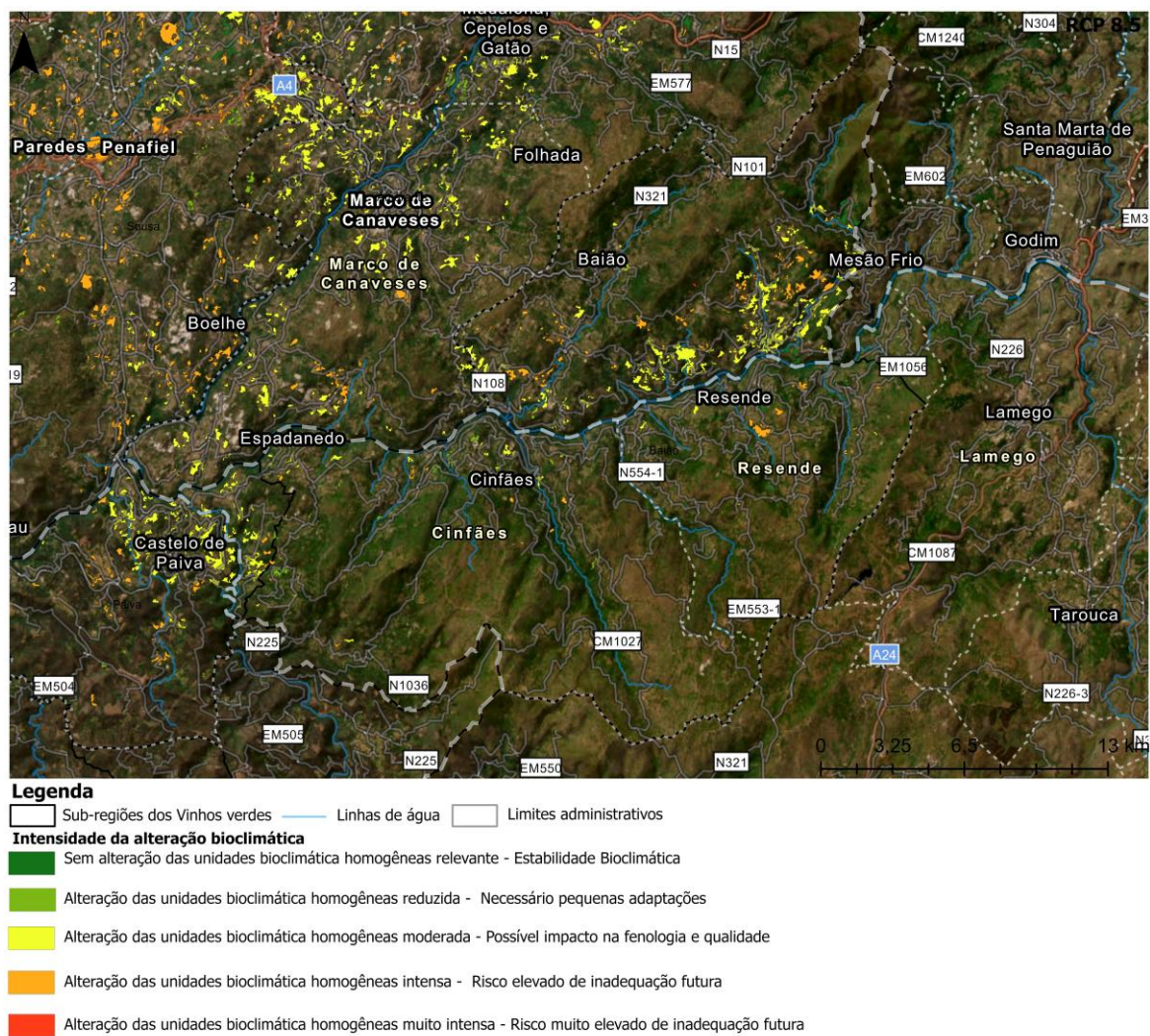


Figura A5.12. Alteração na intensidade bioclimática para o RCP 8.5 na sub-região de Baião.

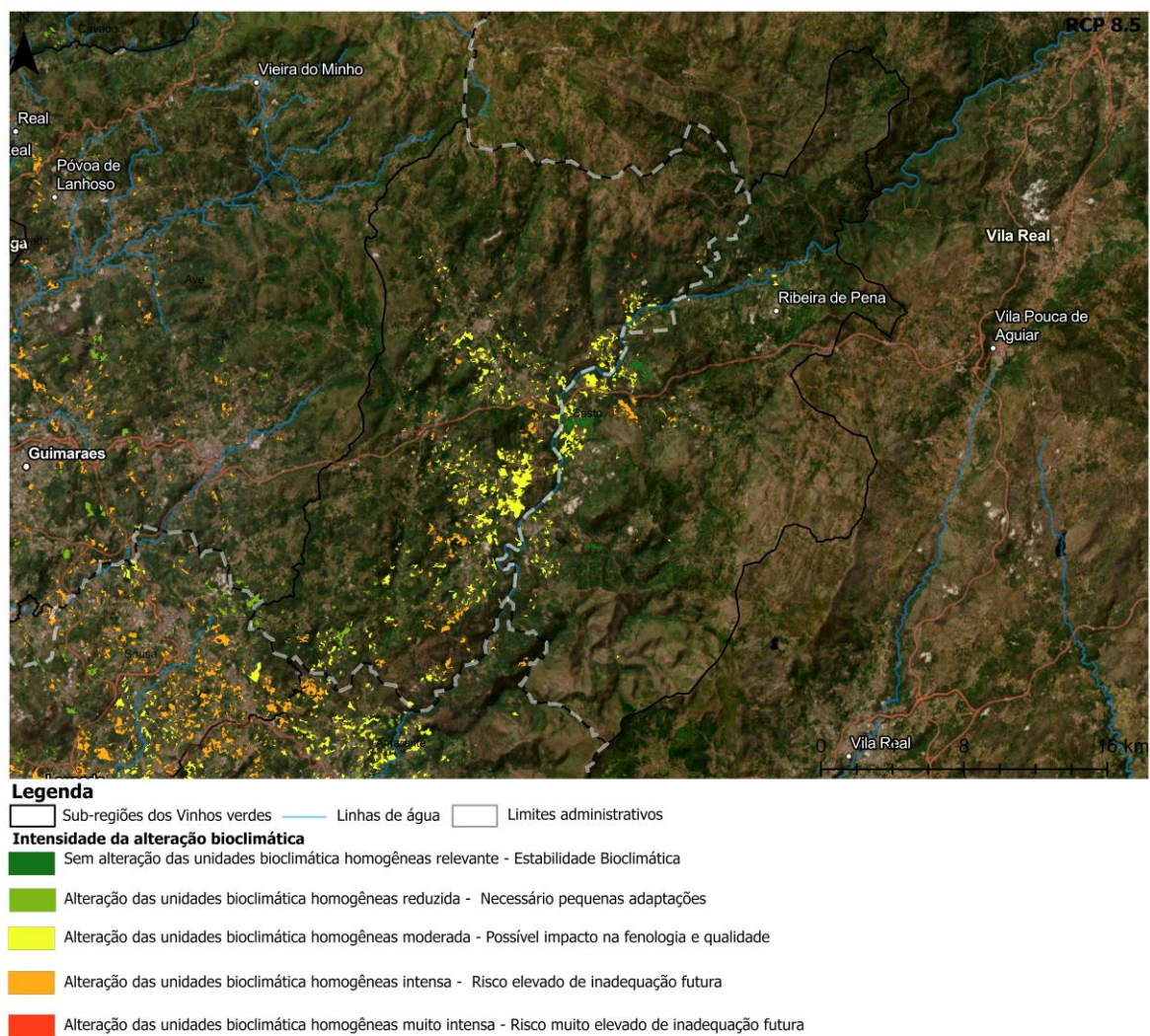


Figura A5.13. Alteração na intensidade bioclimática para o RCP 8.5 na sub-região de Basto.

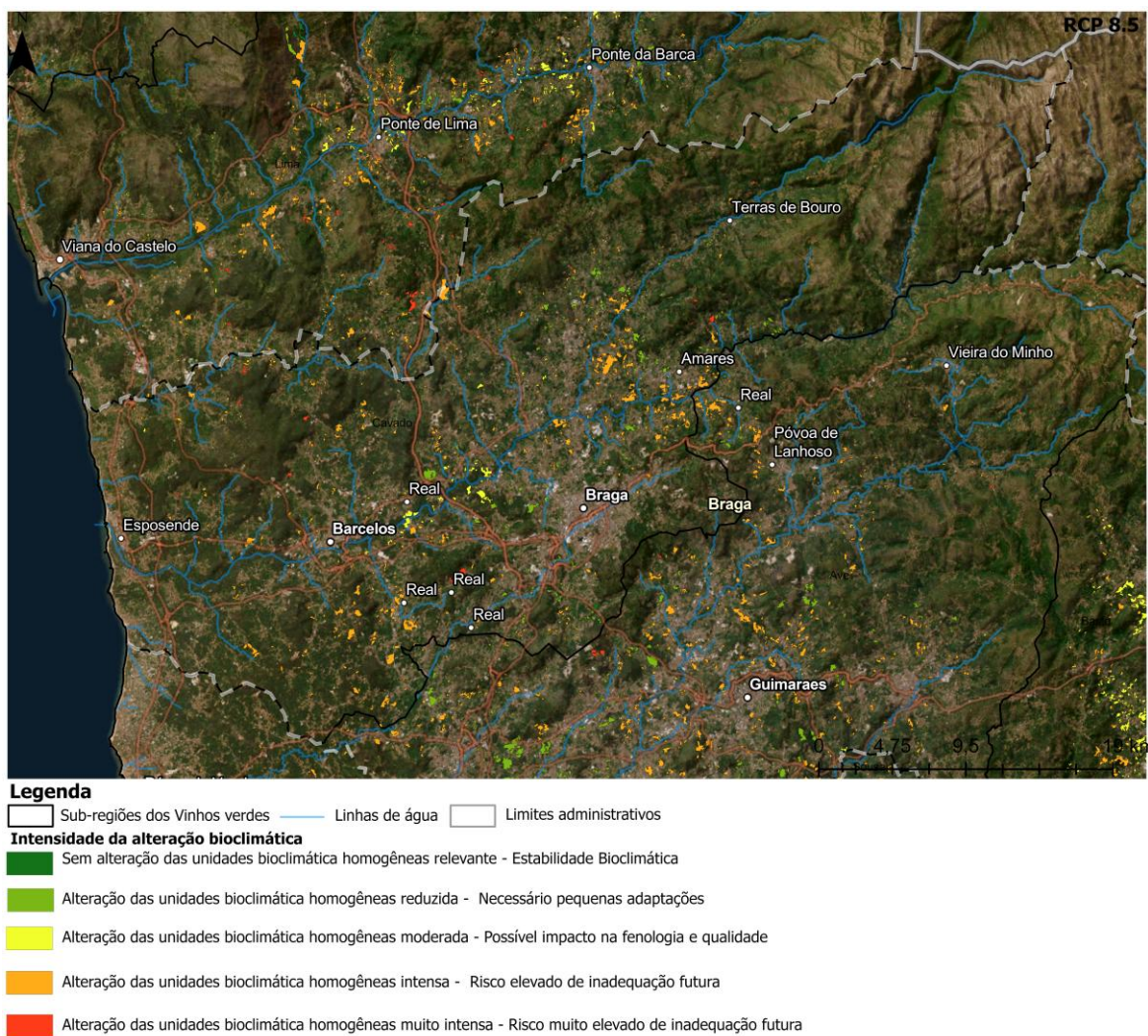


Figura A5.14. Alteração na intensidade bioclimática para o RCP 8.5 na sub-região do Cávado.



Figura A5.15. Alteração na intensidade bioclimática para o RCP 8.5 na sub-região do Lima.

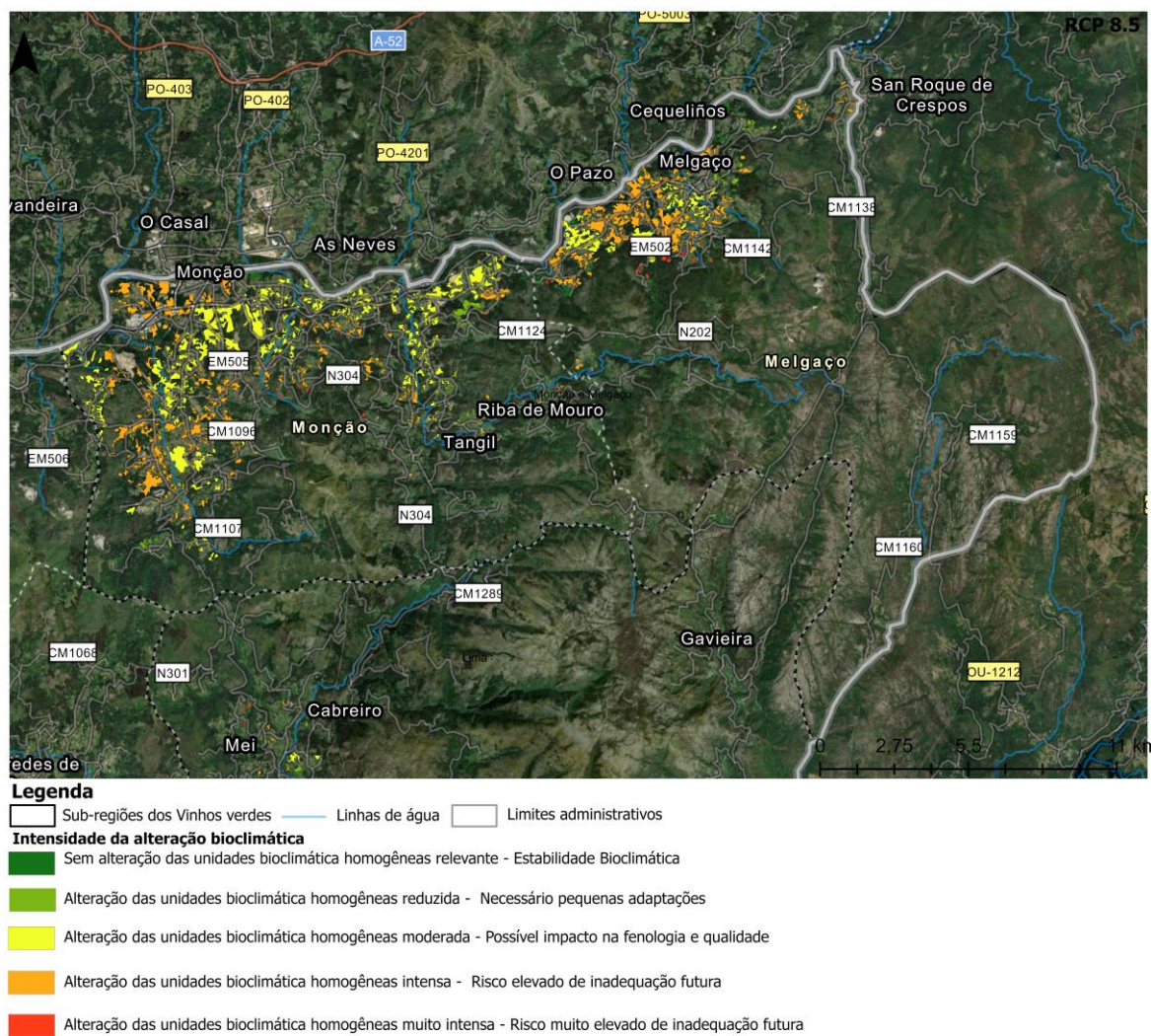


Figura A5.16. Alteração na intensidade bioclimática para o RCP 8.5 na sub-região de Monção e Melgaço.

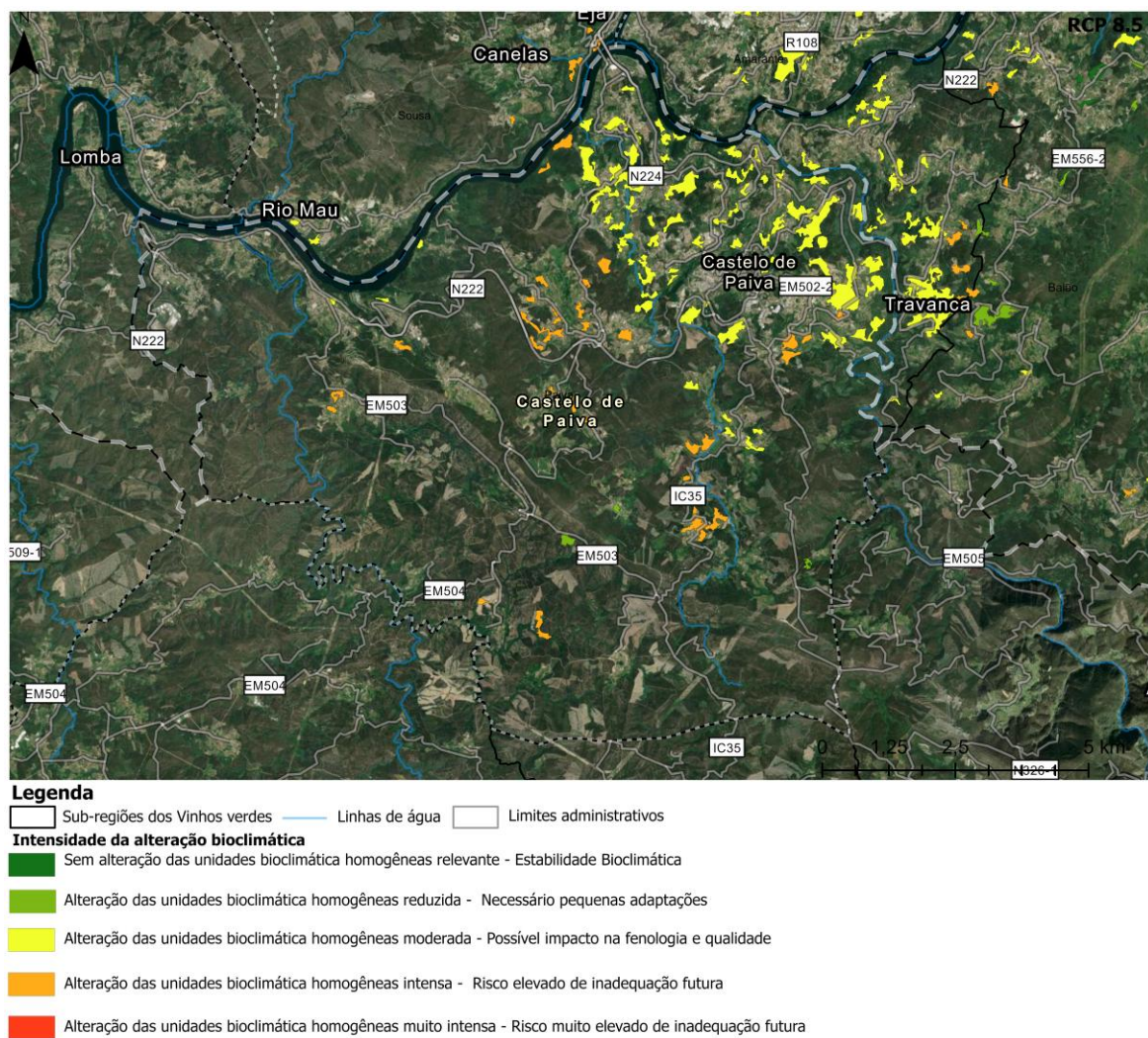


Figura A5.17. Alteração na intensidade bioclimática para o RCP 8.5 na sub-região do Paiva.

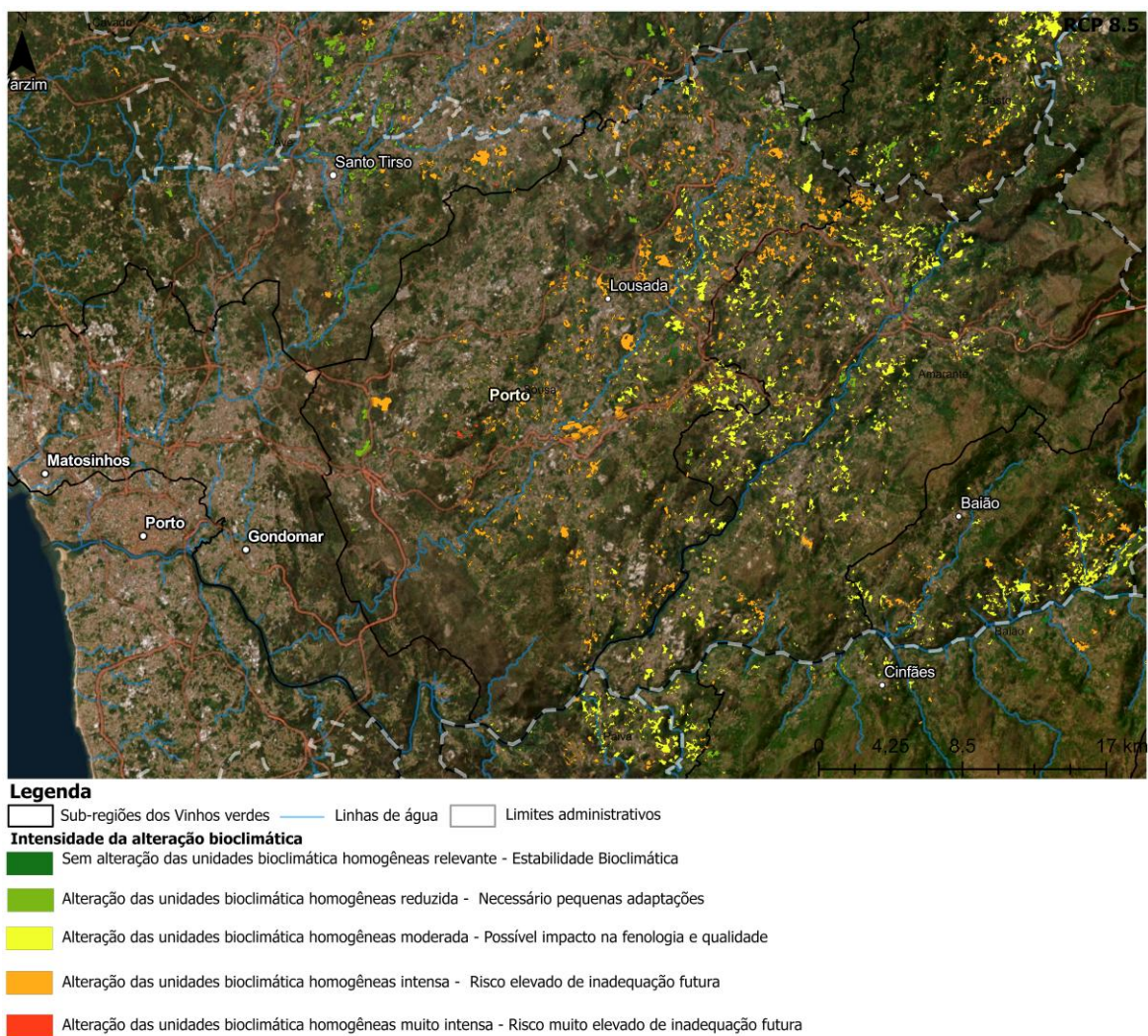


Figura A5.18. Alteração na intensidade bioclimática para o RCP 8.5 na sub-região do Sousa.