



**UNIVERSIDADE DOS AÇORES  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**

---

**MODELAÇÃO HIDROLÓGICA DISTRIBUÍDA EM REGIÕES  
INSULARES VULCÂNICAS  
APLICAÇÃO À BACIA HIDROGRÁFICA DA GROTA DO  
TAPETE, ILHA TERCEIRA, AÇORES**

---

**Sandra de Jesus Ornelas Nunes**

Dissertação apresentada na Universidade dos  
Açores para efeito de prestação de provas de  
mestrado em Engenharia do Ambiente

**Orientador: Professor Doutor José Carlos Fontes**

**Angra do Heroísmo  
2012**



## **AGRADECIMENTOS**

Ao Prof. Doutor José Carlos Goulart Fontes pela disponibilidade e oportunidade de realizar este trabalho sob sua orientação.

Ao Prof. Doutor David Horta-Lopes pelo acesso à licença do *software* da ESRI® ArcGIS e aos respetivos manuais, associados ao projeto INTERFRUTA II.

Ao colega Reinaldo Pimentel pela sua inestimável colaboração, generosidade e disponibilidade e pelas sugestões úteis no campo da informática, para a utilização do *software* da ESRI® ArcGIS e do *Microsoft Office*.

Ao Prof. Doutor Félix Rodrigues agradeço a disponibilidade e a colaboração.

Ao Carlos Lucas pela sua disponibilidade, valioso apoio e sugestões úteis no campo da informática.

À Universidade dos Açores pela cedência dos dados climáticos das estações da Granja e da Ribeirinha.

Ao projeto INTERFRUTA II pela cedência dos dados climáticos das estações do Porto Judeu, São Sebastião e das Bicas de Cabo Verde.

Ao projecto CLIMAAT pela disponibilização dos dados da estação do Castelinho.

À Secretaria Regional da Ciência, Tecnologia e Equipamentos pelos ficheiros disponibilizados.

À Eng.<sup>a</sup> Maria Gaspar pelo esclarecimento de algumas dúvidas sobre a utilização do *software* da ESRI® ArcGIS, na fase inicial deste trabalho.

Ao Eng. Nuno Cardoso e Dr.<sup>a</sup> Andreia Cardoso pelo apoio.

À minha Mãe, pela generosidade e valiosa motivação, pelo inestimável apoio e confiança em mim.

À Tita, pela sua constante, amorosa e carinhosa companhia.

“A Terra não pertence ao Homem;  
O Homem pertence à Terra. Isto sabemos.

Tudo está ligado, como o sangue  
que une uma família. Tudo está ligado.

Tudo o que acontece à Terra acontecerá aos filhos da Terra.

O Homem não teceu a rede da vida,  
ele é só um dos seus fios.

Aquele que ele fizer à rede da vida  
ele o faz a si próprio.”

Chefe Seattle

## **ABSTRACT**

The purpose of this study was to develop a spatially distributed hydrological modelling tool to be applied in volcanic insular regions, which was called MHIDRIV.

The methodology used was based on the generation of a hydrological model and its integration into a Geographic Information System (GIS), which served as a platform for distributed hydrological modeling, applied to the Grota do Tapete watershed, Terceira Island, Azores.

During this study, was performed a quantitative assessment of daily hydrometeorological parameters, distributed to the referred watershed, depending on climatic variables (precipitation, temperature, humidity, solar radiation and wind speed), soil variables (physical and hydrological characterization) and surface characteristics (land use), reproducing the essential processes of water transport of the different phases of the hydrological cycle.

The Terceira Island watersheds map was created, with a spatial resolution of 25 x 25 m<sup>2</sup>.

The developed model was applied on the referred watershed, using data from meteorological stations to study soil erosion installed in Granja and Ribeirinha and Castelinho and Bicas de Cabo Verde stations.

The hydrologic model resulted in the creation of maps of daily precipitation, reference evapotranspiration, real evapotranspiration distributed for the referred watershed.

To make the distributed modeling of runoff, which resulted in the generation of maps with daily temporal resolution for the basin, an empirical model was built based on the Soil Conservation Service (SCS) method, which is based on the curve number (CN). This modelling was calibrated and validated for the referred watershed.

The water balance was made based on infiltration, whose daily maps were generated for the referred watershed.

The values from the year 2008 recorded at the referred stations were used to calibrate the spatial variation of climatic variables. The calibration of the soil hydrological parameters was based on the Granja sub-basin which is located within the Grota do Tapete watershed.

The model validation was performed for the year 2008, and query was performed with the indigenous population that lives near Grota do Tapete waterline regarding its runoff.

**Keywords:** distributed hydrologic modeling, MHIDRIV, Grota do Tapete watershed, runoff, infiltration, Geographic Information System, calibration, validation.

## RESUMO

O propósito deste trabalho foi desenvolver uma ferramenta de modelação distribuída da hidrologia de superfície em regiões insulares vulcânicas, que foi denominado MHIDRIV.

A metodologia utilizada baseou-se geração de um modelo hidrológico e na sua integração num Sistema de Informação Geográfica (SIG), que serviu de plataforma para a modelação hidrológica distribuída, aplicada à bacia hidrográfica da Grotta do Tapete, Ilha Terceira, Açores.

No decurso deste trabalho, foi efetuada uma avaliação quantitativa diária dos parâmetros hidrometeorológicos, distribuídos para a bacia hidrográfica da Grotta do Tapete, em função das variáveis climáticas (precipitação, temperatura, humidade, insolação diária real e velocidade do vento), variáveis do solo (caracterização física e hidrológica) e características à superfície (ocupação do solo), reproduzindo os processos essenciais do transporte de água das diferentes fases do ciclo hidrológico.

Foi criada uma carta de bacias hidrográficas da Ilha Terceira, com uma resolução espacial de 25 x 25 m<sup>2</sup>.

O modelo desenvolvido foi aplicado na bacia referida, utilizando os dados das estações agrometeorológicas para estudo da erosão do solo instaladas na Granja e Ribeirinha e das estações do Castelinho e Bicas de Cabo Verde.

O modelo hidrológico resultou na criação das cartas diárias de precipitação, evapotranspiração de referência, evapotranspiração real distribuídas para a bacia referida.

Para efetuar a modelação distribuída do escoamento superficial, que resultou na geração de cartas com resolução temporal diária para a bacia, foi integrado um modelo empírico do Soil Conservation Service (SCS), baseado no número de escoamento (CN), que foi valibrado e validado para a bacia.

O balanço hídrico foi realizado em função da infiltração profunda, tendo sido criadas cartas deste parâmetro com resolução temporal diária para a bacia.

Para a calibração da variação espacial das variáveis climáticas foram utilizados os valores registados nas estações referidas, para o ano de 2008. A calibração dos parâmetros hidrológicos do solo foi efetuada com base na sub-bacia hidrográfica da Granja localizada no interior da bacia hidrográfica da Grota do Tapete.

A validação do modelo foi efetuada para o ano 2008, tendo-se recorrido a um inquérito à população autóctone que vive junto à Grota do Tapete, relativamente ao seu escoamento.

**Palavras-chave:** Modelação hidrológica distribuída, MHIDRIV, bacia hidrográfica da Grota do Tapete, escoamento superficial, infiltração profunda, Sistema de Informação Geográfica, calibração, validação.

## ÍNDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>MODELAÇÃO DO CLIMA E DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL</b>	<b>7</b>
2.1	RECURSOS HÍDRICOS	7
2.2	ESTUDOS REFERENTES À MODELAÇÃO DO CLIMA E AO ESCOAMENTO SUPERFICIAL EM REGIÕES INSULARES VULCÂNICAS	7
2.2.1	Modelo CIELO	7
2.3	ESTUDOS REFERENTES AO ESCOAMENTO SUPERFICIAL NAS ILHAS DOS AÇORES	8
2.3.1	Escoamento superficial na Ilha Terceira	9
2.3.1.1	Modelo OPUS	9
2.3.1.2	Bacias hidrográficas da Ilha Terceira	10
<b>3</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO E ENQUADRAMENTO DO LOCAL DE ESTUDO</b>	<b>13</b>
3.1	ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO	13
3.2	HIDROGRAFIA	13
3.2.1	Definição de bacia hidrográfica	15
3.3	GEOLOGIA	16
3.4	GEOMORFOLOGIA	17
3.5	VEGETAÇÃO	18
3.6	SOLOS	18
3.7	USOS DO SOLO	20
3.8	OCUPAÇÃO DO SOLO	20
3.9	CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA	20
3.9.1	Arquipélago dos Açores	20
3.9.2	Ilha Terceira	21
3.9.2.1	Precipitação	21
3.9.2.2	Temperatura	22
3.1.1.1	Humidade relativa	22
3.9.2.3	Insolação diária real	22
3.9.2.4	Vento	23
3.9.2.5	Evapotranspiração de referência	23
3.9.2.6	Evapotranspiração real	24
3.10	ESCOAMENTO SUPERFICIAL	24
3.11	RECARGA AQUÍFERA	24
<b>4</b>	<b>SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA</b>	<b>27</b>
4.1	ARCGIS	27
4.2	MODELOS DE DADOS GEOGRÁFICOS	28
4.2.1	Modelos <i>raster</i> e vetoriais	28
4.2.2	Ortofotos	28
4.3	ANÁLISE ESPACIAL	28
<b>5</b>	<b>MODELAÇÃO HIDROLÓGICA DISTRIBUÍDA</b>	<b>29</b>
5.1	INTRODUÇÃO	29
5.2	MODELO DIGITAL DE TERRENO	43

5.2.1	Cartas derivadas do MDT.....	43
3.1.1.1	Carta das bacias hidrográficas da Ilha Terceira .....	44
5.3	ESTAÇÕES AGRO-METEOROLÓGICAS .....	45
5.3.1	Estação da Granja.....	45
5.3.2	Estação da Ribeirinha .....	45
5.3.3	Estação do Porto Judeu .....	45
5.3.4	Estação da Bicas de Cabo Verde .....	46
5.3.5	Estação da S. Sebastião .....	46
5.3.6	Estação do Castelinho .....	46
5.4	DADOS METEREOLÓGICOS.....	51
5.4.1	Precipitação .....	52
5.4.2	Temperatura .....	58
5.4.3	Humidade relativa .....	64
5.4.4	Radiação líquida .....	70
5.4.5	Vento .....	77
5.5	EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA.....	84
5.5.1	Evapotranspiração de referência diária simulada .....	84
5.5.2	Equação empírica da evapotranspiração de referência diária .....	91
5.5.3	Calibração da equação empírica da evapotranspiração de referência diária 97	
5.5.4	Validação da equação empírica da evapotranspiração de referência diária 101	
5.6	CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E HIDROLÓGICA DO SOLO.....	103
5.6.1	Tipos de solos.....	103
5.6.2	Grupos hidrológicos de solo .....	103
5.7	USOS DE SOLO.....	104
5.8	OCUPAÇÃO DO SOLO .....	104
5.9	EVAPOTRANSPIRAÇÃO REAL .....	109
5.10	PRECIPITAÇÃO.....	111
5.10.1	Equação empírica da precipitação diária em função da cota .....	111
5.10.2	Calibração e validação da equação empírica da precipitação diária.....	118
5.11	ESCOAMENTO SUPERFICIAL.....	121
5.11.1	Escoamento superficial observado nas Estações da Granja e Ribeirinha 121	
5.11.2	Método de simulação do escoamento superficial .....	122
5.11.3	Calibração do modelo de simulação do escoamento superficial diário. 128	
5.11.4	Validação do modelo calibrado de escoamento superficial diário .....	135
5.12	INFILTRAÇÃO PROFUNDA.....	142
5.13	GEOLOGIA, GEOMORFOLOGIA E TECTÓNICA .....	145
5.14	RECARGA AQUÍFERA .....	146
<b>6</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>147</b>
6.1	MODELO DIGITAL DE TERRENO .....	147
6.1.1	Cartas derivadas do MDT.....	151
6.2	CARTAS DE BACIAS HIDROGRÁFICAS .....	160
6.2.1	Ilha Terceira .....	160

6.2.2	Bacia hidrográfica da Grotta do Tapete.....	164
6.2.3	Grotta do Tapete .....	165
6.3	EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA DIÁRIA DISTRIBUÍDA.....	166
6.4	CARACTERIZAÇÃO DO SOLO .....	172
6.4.1	Tipos de solo .....	172
6.4.2	Grupos hidrológicos de solo .....	174
6.5	USOS DE SOLO.....	176
6.6	COEFICIENTES CULTURAI.....	177
6.7	EVAPOTRANSPIRAÇÃO REAL DIÁRIA DISTRIBUÍDA .....	182
6.8	PRECIPITAÇÃO DIÁRIA DISTRIBUÍDA.....	187
6.9	NÚMEROS DE ESCOAMENTO .....	192
6.10	ESCOAMENTO SUPERFICIAL DIÁRIO DISTRIBUÍDO .....	196
6.11	INFILTRAÇÃO PROFUNDA DIÁRIA DISTRIBUÍDA.....	201
6.12	GEOLOGIA E TECTÓNICA.....	207
6.13	BALANÇO HÍDRICO .....	208
<b>7</b>	<b>APLICAÇÃO DO MODELO MHIDRIV A UM EVENTO DE PRECIPITAÇÃO EXTREMA</b>	
	<b>215</b>	
7.1	DADOS METEREOLÓGICOS E ESCOAMENTO SUPERFICIAL.....	215
7.2	MODELAÇÃO HIDROLÓGICA DISTRIBUÍDA .....	219
7.2.1	Evapotranspiração de referência diária distribuída.....	219
7.2.2	Coeficientes culturais .....	223
7.2.3	Evapotranspiração real diária distribuída.....	224
7.2.4	Precipitação diária distribuída .....	227
7.2.5	Escoamento superficial diário distribuído.....	230
7.2.6	Infiltração profunda diária distribuída .....	241
7.2.7	Balanço hídrico.....	244
<b>8</b>	<b>REPERCUSSÕES.....</b>	<b>249</b>
<b>9</b>	<b>REGIONALIZAÇÃO .....</b>	<b>253</b>
<b>10</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>255</b>



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Bacias hidrográficas da ilha Terceira (adaptada de Rodrigues, 2002).....	12
Figura 2 Carta Hidrográfica da Ilha Terceira.....	14
Figura 3 Tergo.....	16
Figura 4 Vale.....	16
Figura 5 Modelação espacial – exemplo do Modelo MEFIDIS, que simula a hidrologia e a erosão (Seixas, 2007).....	41
Figura 6 Modelação espacial (Seixas, 2007).....	42
Figura 7 Carta das estações utilizadas na construção do Modelo Hidrológico Distribuído aplicado à Bacia Hidrográfica da Grota do Tapete.....	47
Figura 8 Gráfico de distâncias entre as estações e a bacia hidrográfica da Grota do Tapete.....	48
Figura 9 Bacia da hidrográfica da Grota do Tapete e, da esquerda para a direita, estações da Granja, S. Sebastião, Porto Judeu e Ribeirinha.....	49
Figura 10 Bacia da hidrográfica da Grota do Tapete e, da esquerda para a direita, estações das Bicas de Cabo Verde, Granja, Ribeirinha, Castelinho, São Sebastião e Porto Judeu.....	49
Figura 11 Bacia da hidrográfica da Grota do Tapete e, da esquerda para a direita, estações da Granja, Ribeirinha, São Sebastião e Porto Judeu.....	50
Figura 12 Bacia da hidrográfica da Grota do Tapete e, da esquerda para a direita, estações das Bicas de Cabo Verde, Castelinho, Ribeirinha, Granja, Porto Judeu e S. Sebastião.....	50
Figura 13 Bacia da hidrográfica da Grota do Tapete e, da esquerda para a direita, estações de S. Sebastião, Porto Judeu, Ribeirinha, Castelinho, Granja e Bicas de Cabo Verde.....	51
Figura 14 Carta de relevo da Ilha Terceira.....	149
Figura 15 Carta de relevo da bacia hidrográfica da Grota do Tapete.....	150
Figura 16 Carta altimétrica da Bacia Hidrográfica da Grota do Tapete.....	152
Figura 17 Carta de direção de declive da Bacia Hidrográfica da Grota do Tapete.....	153
Figura 18 Carta de declives (em graus) da Bacia Hidrográfica da Grota do Tapete.....	154
Figura 19 Carta de declives (em percentagem) da Bacia Hidrográfica da Grota do Tapete.....	155
Figura 20 Carta de declives (em m/m) da Bacia Hidrográfica da Grota do Tapete.....	156
Figura 21 Carta de convexidade/concavidade da Bacia Hidrográfica da Grota do Tapete.....	157
Figura 22 Carta de curvatura da superfície, na direção do declive, da Bacia Hidrográfica da Grota do Tapete.....	158
Figura 23 Carta de curvatura da superfície, perpendicular à direção do declive, da Bacia Hidrográfica da Grota do Tapete.....	159
Figura 24 Mapa de direção de fluxo da Ilha Terceira.....	161

Figura 25 Mapa de acumulação de fluxo da Ilha Terceira. ....	162
Figura 26 Carta de bacias hidrográficas da Ilha Terceira. ....	163
Figura 27 Ortofoto da bacia hidrográfica da Grota do Tapete.....	164
Figura 28 Grota do Tapete: traçado indicado na carta hidrográfica do Instituto Geográfico do Exército vs. linha preferencial de acumulação de fluxo de escoamento superficial. ....	166
Figura 29 Carta de evapotranspiração de referência diária distribuída da Ilha Terceira, do dia 13-02-2008. ....	167
Figura 30 Carta de evapotranspiração de referência diária distribuída da Ilha Terceira, do dia 16-02-2008. ....	168
Figura 31 Carta de evapotranspiração de referência diária distribuída da Ilha Terceira, do dia 19-06-2008. ....	169
Figura 32 Carta de evapotranspiração de referência diária distribuída da Ilha Terceira, do dia 10-07-2008. ....	170
Figura 33 Carta de evapotranspiração de referência diária distribuída da Ilha Terceira, do dia 26-12-2008. ....	171
Figura 34 Carta de tipos de solos (adaptada de Pinheiro, 1990).....	172
Figura 35 Carta de grupos hidrológicos de solos da bacia hidrográfica da Grota do Tapete.....	174
Figura 36 Carta de usos de solos da bacia hidrográfica da Grota do Tapete.....	176
Figura 37 Carta de coeficientes culturais para o mês de Fevereiro da bacia hidrográfica da Grota do Tapete. ....	178
Figura 38 Carta de coeficientes culturais para o mês de Junho da bacia hidrográfica da Grota do Tapete. ....	179
Figura 39 Carta de coeficientes culturais para o mês de Julho da bacia hidrográfica da Grota do Tapete. ....	180
Figura 40 Carta de coeficientes culturais para o mês de Dezembro da bacia hidrográfica da Grota do Tapete. ....	181
Figura 41 Carta de evapotranspiração real diária distribuída da bacia hidrográfica da Grota do Tapete, do dia 13-02-2008.....	182
Figura 42 Carta de evapotranspiração real diária distribuída da bacia hidrográfica da Grota do Tapete, do dia 16-02-2008.....	183
Figura 43 Carta de evapotranspiração real diária distribuída da bacia hidrográfica da Grota do Tapete, do dia 19-06-2008.....	184
Figura 44 Carta de evapotranspiração real diária distribuída da bacia hidrográfica da Grota do Tapete, do dia 10-07-2008.....	185
Figura 45 Carta de evapotranspiração real diária distribuída da bacia hidrográfica da Grota do Tapete, do dia 26-12-2008.....	186
Figura 46 Carta de precipitação diária distribuída da bacia hidrográfica da Grota do Tapete, do dia 13-02-2008. ....	187

Figura 47 Carta de precipitação diária distribuída da bacia hidrográfica da Grota do Tapete, do dia 16-02-2008. ....	188
Figura 48 Carta de precipitação diária distribuída da bacia hidrográfica da Grota do Tapete, do dia 19-06-2008. ....	189
Figura 49 Carta de precipitação diária distribuída da bacia hidrográfica da Grota do Tapete, do dia 10-07-2008. ....	190
Figura 50 Carta de precipitação diária distribuída da bacia hidrográfica da Grota do Tapete, do dia 26-12-2008. ....	191
Figura 51 Carta de números de escoamento ajustados ao declive, para o mês de Fevereiro e para a situação antecedente de humidade do solo AMC II, da bacia hidrográfica da Grota do Tapete.....	193
Figura 52 Carta de números de escoamento ajustados ao declive, para o mês de Junho e para a situação antecedente de humidade do solo AMC I, da bacia hidrográfica da Grota do Tapete. ....	194
Figura 53 Carta de números de escoamento ajustados ao declive, para o mês de Julho e para a situação antecedente de humidade do solo AMC I, da bacia hidrográfica da Grota do Tapete. ....	195
Figura 54 Carta de números de escoamento ajustados ao declive, para o mês de Dezembro e para a situação antecedente de humidade do solo AMC II, da bacia hidrográfica da Grota do Tapete.....	196
Figura 55 Carta de escoamento superficial diário distribuído da bacia hidrográfica da Grota do Tapete, para o dia 13-02-2008 e para a situação antecedente de humidade do solo AMC II. ....	197
Figura 56 Carta de escoamento superficial diário distribuído da bacia hidrográfica da Grota do Tapete, para o dia 16-02-2008 e para a situação antecedente de humidade do solo AMC II. ....	198
Figura 57 Carta de escoamento superficial diário distribuído da bacia hidrográfica da Grota do Tapete, para o dia 19-06-2008 e para a situação antecedente de humidade do solo AMC I. ....	199
Figura 58 Carta de escoamento superficial diário distribuído da bacia hidrográfica da Grota do Tapete, para o dia 10-07-2008 e para a situação antecedente de humidade do solo AMC I. ....	200
Figura 59 Carta de escoamento superficial diário distribuído da bacia hidrográfica da Grota do Tapete, para o dia 26-12-2008 e para a situação antecedente de humidade do solo AMC II. ....	201
Figura 60 Carta de infiltração profunda diária distribuída da bacia hidrográfica da Grota do Tapete, para o dia 13-02-2008 e para a situação antecedente de humidade do solo AMC II. ....	202

Figura 61 Carta de infiltração profunda diária distribuída da bacia hidrográfica da Grota do Tapete, para o dia 16-02-2008 e para a situação antecedente de humidade do solo AMC II.....	203
Figura 62 Carta de infiltração profunda diária distribuída da bacia hidrográfica da Grota do Tapete, para o dia 19-06-2008 e para a situação antecedente de humidade do solo AMC I.....	204
Figura 63 Carta de infiltração profunda diária distribuída da bacia hidrográfica da Grota do Tapete, para o dia 10-07-2008 e para a situação antecedente de humidade do solo AMC I.....	205
Figura 64 Carta de infiltração profunda diária distribuída da bacia hidrográfica da Grota do Tapete, para o dia 26-12-2008 e para a situação antecedente de humidade do solo AMC II.....	206
Figura 65 Carta geológica da bacia hidrográfica da Grota do Tapete (adaptada de Lloyd e Collis, 1981). .....	207
Figura 66 Carta de evapotranspiração de referência diária distribuída da bacia hidrográfica da Grota do Tapete, do dia 10-05-2012. ....	220
Figura 67 Carta de evapotranspiração de referência diária distribuída da bacia hidrográfica da Grota do Tapete, do dia 11-05-2012. ....	221
Figura 68 Carta de evapotranspiração de referência diária distribuída da bacia hidrográfica da Grota do Tapete, do dia 12-05-2012. ....	222
Figura 69 Carta de coeficientes culturais para o mês de Maio da bacia hidrográfica da Grota do Tapete.....	223
Figura 70 Carta de evapotranspiração real diária distribuída da bacia hidrográfica da Grota do Tapete, do dia 10-05-2012.....	224
Figura 71 Carta de evapotranspiração real diária distribuída da bacia hidrográfica da Grota do Tapete, do dia 11-05-2012.....	225
Figura 72 Carta de evapotranspiração real diária distribuída da bacia hidrográfica da Grota do Tapete, do dia 12-05-2012.....	226
Figura 73 Carta de precipitação diária distribuída da bacia hidrográfica da Grota do Tapete, do dia 10-05-2012. ....	227
Figura 74 Carta de precipitação diária distribuída da bacia hidrográfica da Grota do Tapete, do dia 11-05-2012. ....	228
Figura 75 Carta de precipitação diária distribuída da bacia hidrográfica da Grota do Tapete, do dia 12-05-2012. ....	229
Figura 76 Carta de números de escoamento ajustados ao declive, para o mês de Maio e para a situação antecedente de humidade do solo AMC I, da bacia hidrográfica da Grota do Tapete.....	235
Figura 77 Carta de números de escoamento ajustados ao declive, para o mês de Maio e para a situação antecedente de humidade do solo AMC II, da bacia hidrográfica da Grota do Tapete.....	236

Figura 78 Carta de números de escoamento ajustados ao declive, para o mês de Maio e para a situação antecedente de humidade do solo AMC III, da bacia hidrográfica da Grotta do Tapete. ....	237
Figura 79 Carta de escoamento superficial diário distribuído da bacia hidrográfica da Grotta do Tapete, para o dia 10-05-2012 e para a situação antecedente de humidade do solo AMC I. ....	238
Figura 80 Carta de escoamento superficial diário distribuído da bacia hidrográfica da Grotta do Tapete, para o dia 11-05-2012 e para a situação antecedente de humidade do solo AMC II. ....	239
Figura 81 Carta de escoamento superficial diário distribuído da bacia hidrográfica da Grotta do Tapete, para o dia 12-05-2012 e para a situação antecedente de humidade do solo AMC III. ....	240
Figura 82 Carta de infiltração profunda diária distribuída da bacia hidrográfica da Grotta do Tapete, para o dia 10-05-2012 e para a situação antecedente de humidade do solo AMC I. ....	241
Figura 83 Carta de infiltração profunda diária distribuída da bacia hidrográfica da Grotta do Tapete, para o dia 11-05-2012 e para a situação antecedente de humidade do solo AMC II. ....	242
Figura 84 Carta de infiltração profunda diária distribuída da bacia hidrográfica da Grotta do Tapete, para o dia 12-05-2012 e para a situação antecedente de humidade do solo AMC III. ....	243



## 1 INTRODUÇÃO

---

A água constitui, em resultado da sua utilização transversal a todas as atividades produtivas, um recurso natural de significativo valor económico e social.

Numa região insular, tal como o arquipélago dos Açores, a proteção e valorização dos recursos hídricos é ainda mais importante dada a vulnerabilidade dos ecossistemas aquáticos e a exiguidade de alternativas.

Em consequência, na Região Autónoma dos Açores, a gestão integrada dos recursos hídricos não pode apenas constituir um desiderato da política de ambiente mas, mais ainda, deve representar uma ferramenta estratégica para atingir o objetivo do desenvolvimento ambientalmente sustentado, por forma a compatibilizar a resiliência dos ecossistemas com as atividades económicas e reforçar, desse modo, justos direitos de índole social.

No sentido da implementação de um controlo dos recursos hídricos, diversos instrumentos jurídicos de índole nacional e comunitária têm sido adotados no sentido de assegurar a valorização das disponibilidades e articular, adequadamente, as diferentes utilizações da água com a conservação dos ecossistemas aquáticos.

A Diretiva do Parlamento Europeu e do Conselho n.º 2000/60/CE, de 22 de Dezembro, sobre o quadro de ação comunitária no domínio da política da água, merece, neste âmbito, um realce especial.

O Plano Regional da Água (PRAA, 2001) constitui o instrumento de planeamento de recursos hídricos, de natureza estratégica e operacional, que consagra os fundamentos e as opções da política dos recursos hídricos para a Região. Simultaneamente, materializa a participação da Região no Plano Nacional da Água articulando-se, de forma solidária, com os seus princípios e orientações e tem como principal desígnio a definição de uma política sustentável para os recursos hídricos da Região, com o objetivo de alcançar uma verdadeira solidariedade regional e intergeracional na gestão de tais recursos naturais.

Da análise publicada no Decreto Legislativo Regional n.º 19/2003/A, efetuada através da metodologia de elaboração de cenários contrastados e selecionando aquele

## 1 INTRODUÇÃO

que, para cada sector, maiores pressões sobre o recurso água impunha, pode concluir-se que as necessidades de água futuras tenderão a aumentar na Região. Assim, previu-se que as necessidades totais (associadas aos diferentes usos - urbanos, indústria alimentar, agropecuária, turismo, energia termoelétrica e outros usos) ascenderiam, no ano de 2020, a um valor superior a  $33 \times 10^6 \text{ m}^3$ , o que representa um acréscimo de cerca de 30% em relação às necessidades anuais de 2003.

Em termos gerais, pode afirmar-se que as maiores necessidades de água, que correspondem necessariamente a grandes pressões sobre os recursos hídricos, são as efetuadas pelos sectores da população, agro-pecuária e indústria. O turismo também poderá tornar-se um sector importante, com valores já bastante elevados de consumo *per capita* de água. Contudo, o aspeto mais importante neste sector será o elevado grau de qualidade de água e regularidade de abastecimento que será necessário assegurar.

As disponibilidades designam a reserva explorável de cada ilha, considerando as reservas subterrâneas resultantes do balanço entre a recarga de aquíferos e as descargas naturais, tendo-se admitido uma faixa de 10% a 20% da capacidade das reservas aquíferas para as disponibilidades que, efetivamente, poderão ser exploradas com viabilidade do ponto de vista técnico-económico. Refira-se que a garantia desta relação deverá ser assegurada através da não contaminação ou sobre-exploração dos aquíferos.

O ainda relativo desconhecimento da viabilidade económica de diversos recursos hipoteticamente exploráveis e a elevada vulnerabilidade à contaminação acidental que os aquíferos insulares apresentam reforça, necessariamente, a perspetiva preventiva, também equacionada no Plano Regional da Água (PRAA, 2001).

O desenvolvimento que se tem verificado nos últimos anos tem gerado, na Ilha Terceira, importantes alterações no ciclo hidrológico traduzidas por flutuações extremas de caudal em nascentes e furos e fenómenos de contaminação associados a práticas agrícolas intensas, a efluentes industriais, a hidrocarbonetos e metais pesados provenientes de atividade militar Norte-Americana e ao avanço das cunhas salinas.

## 1 INTRODUÇÃO

Este processo tem vindo a por em causa a quantidade e qualidade de água captada, fenómeno que poderá ser potenciado por eventuais alterações climáticas que afetem a precipitação e a qualidade da água, traduzidas por contaminações de ordem microbiológica e físico-química. Assim, surge a necessidade de garantir, aos atuais e futuros utilizadores, o seu fornecimento em quantidade e qualidade, numa óptica de desenvolvimento sustentável.

O Arquipélago dos Açores caracteriza-se por ser um ambiente vulcânico de grande variabilidade geológica e hidrogeológica, onde em cada uma das Ilhas é necessária uma análise detalhada e original do efeito de escala, sendo fundamental o conhecimento mais aprofundado dos sistemas hídricos destas ilhas vulcânicas de pequena dimensão, tendo em vista a preservação qualitativa e quantitativa da água.

Este trabalho teve como objetivo fundamental a produção de um instrumento de quantificação dos parâmetros hídricos, nomeadamente, escoamento superficial e infiltração profunda, e alcançar resultados quantificáveis e fiáveis, que sirvam de instrumentos de decisão política, sensibilizando e informando as entidades responsáveis, relativamente às quantidades do recurso água afetadas às bacias hidrográficas em ambientes insulares vulcânicos.

O modelo hidrológico distribuído produzido é uma ferramenta de integração e análise da relação entre os fatores que regem o balanço hídrico e as diferentes alternativas de uso do solo, servindo também de suporte ao ordenamento do território insular e à avaliação da disponibilidade hídrica global potencial encaminhada para a recarga aquífera, na área afeta a cada bacia hidrográfica.

Pretendeu-se demonstrar a interdependência entre diversas tecnologias de informação geográfica, nomeadamente a modelação espacialmente distribuída e a análise espacial usando ferramentas de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), na análise de um fenómeno ambiental.

Este trabalho pretendeu gerar o conteúdo informativo espacial de base ao balanço hidrológico, através da incorporação da modelação distribuída num SIG.

## 1 INTRODUÇÃO

Para o escoamento superficial e infiltração profunda, a integração de tecnologias não só forneceu a base de dados necessária à modelação espacialmente distribuída, como contribuiu para a sua análise, resultando em cartas cujos conteúdos são a representação espacial dos dois parâmetros hidrológicos referidos.

Neste trabalho, o modelo referido foi aplicado à bacia hidrográfica da Grota do Tapete, localizada na Ilha Terceira, Açores, Portugal, contribuindo, simultaneamente, para o conhecimento técnico e científico nesta área.

Para efetuar a simulação dos processos hidrológicos à superfície, existe um modelo hidrológico denominado OPUS (USADA-ARS), já calibrado para a hidrologia de superfície em duas parcelas tipo na Ilha Terceira, uma delas, a da sub-bacia da Granja, incluída dentro da bacia hidrográfica da Grota do Tapete, Ilha Terceira, Açores, razão pela qual esta foi escolhida como objeto desta Tese.

A transformação da precipitação em escoamento é um processo extremamente complexo e difícil de quantificar exaustivamente de forma desagregada espacialmente. As interações com a atmosfera e os percursos que a água precipitada pode tomar sobre uma bacia até chegar à linha de água são variados e os fenómenos físicos que regem esses percursos envolvem inúmeros fatores que são difíceis de medir continuamente no tempo e no espaço. Assim, a utilização de modelos hidrológicos distribuídos, permite aplicar os algoritmos de cálculo a unidades espaciais bastante reduzidas, permitindo captar a variabilidade espacial natural inerente a uma bacia hidrográfica, nomeadamente, em termo das suas características físicas.

A possibilidade fornecida pelos SIG de descrição espacial detalhada de variáveis de estado acoplada à modelação distribuída dos processos hidrológicos, permite conhecer em maior detalhe processos complexos que, quando analisados de forma agregada, truncam a diversidade de informação de base implicada no processo de geração e concentração de escoamento (como a informação sobre solos, uso e manejo de solo e a própria distribuição espacial dos hidrometeoros).

O modelo hidrológico distribuído desenvolvido e utilizado neste trabalho foi o MHIDRIV, acrónimo de Modelo Hidrológico Distribuído em Regiões Insulares Vulcânicas,

## *1 INTRODUÇÃO*

e a bacia hidrográfica estudada foi a da Grota do Tapete, localizada na Ilha Terceira, Açores, Portugal.

Pretendeu-se também, com este trabalho, contribuir para o reforço de uma sociedade Açoriana mais solidária com as gerações futuras, numa óptica de desenvolvimento sustentável, para que possa gerir racional e eficientemente o recurso água.



## 2 MODELAÇÃO DO CLIMA E DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL

---

### 2.1 RECURSOS HÍDRICOS

A procura crescente do recurso água no arquipélago dos Açores e os possíveis impactes das alterações climáticas, obrigam a uma gestão racional e eficiente daquele recurso. Deste modo, torna-se necessário um conhecimento mais rigoroso dos sistemas hídricos, tendo em vista a adoção de estratégias que devem responder às necessidades presentes e futuras, mas também devem estar em sintonia com a conservação dos recursos naturais.

### 2.2 ESTUDOS REFERENTES À MODELAÇÃO DO CLIMA E AO ESCOAMENTO SUPERFICIAL EM REGIÕES INSULARES VULCÂNICAS

No que respeita a regiões insulares vulcânicas, os estudos que abordam este tema são escassos. Destacam-se os publicados por Heras (1974), Heras e Saenz-Oíza (1974); Heras *et al.* (1974), Bravo e Coello (1979), Wright (1989) e Falkland e Custodio (1991). Em todos estes trabalhos são evidenciadas grandes variabilidades de caudal específico e de coeficientes de escoamento superficial, basicamente condicionadas pela pluviosidade, topografia, geologia e revestimento vegetal das bacias hidrográficas. De um modo geral, estes estudos apontam para valores destes parâmetros elevados em unidades hidrológicas com topografia abrupta, permeabilidades do substrato rochoso baixas, cobertos vegetais esparsos e, ainda, precipitações elevadas e temporalmente pouco variáveis.

#### 2.2.1 MODELO CIELO

A aplicação, levada a cabo por Azevedo *et al.*, 1999, do modelo CIELO (acrónimo de Clima Insular à Escala Local) (Azevedo, 1996) gera variáveis climáticas com interesse para a caracterização hidrológica da Ilha Terceira (Açores). Tal geração é validada com base em observações numa rede de estações climatológicas e de postos udométricos para o efeito instalados.

## 2 MODELAÇÃO DO CLIMA E DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL

O modelo CIELO é um modelo aplicável a ambientes insulares que, a partir de observações à escala sinóptica, gera variáveis climáticas à escala local, as quais, por sua vez, podem ser utilizadas na modelação dos fenómenos hidrológicos que têm lugar em bacias hidrográficas insulares.

### 2.3 ESTUDOS REFERENTES AO ESCOAMENTO SUPERFICIAL NAS ILHAS DOS AÇORES

Não obstante a sua importância hidrológica, o número de estudos referentes ao escoamento superficial nas ilhas dos Açores é muito escasso. Ressalvam-se os trabalhos desenvolvidos por Rodrigues (1992, 1993a, 1993b e 1995), na Ilha de S. Miguel, Azevedo (1998), na Ilha das Flores e Azevedo *et al.* (2002) e Fontes (1999) na Ilha Terceira.

Nos estudos desenvolvidos pelo primeiro autor, referem-se a cursos de água encaixados em maciços com lagoas, sendo enfatizado o efeito retardador que estes corpos hídricos têm no reforço dos caudais específicos. As heterogeneidades do escoamento anual são também evidenciadas nestes trabalhos, especialmente, as associadas à ciclicidade do armazenamento nas lagoas e à permeabilidade dos terrenos.

No trabalho desenvolvido por Azevedo (1998), tenta-se quantificar o escoamento superficial nos principais cursos de água da Ilha das Flores a partir de um conjunto de medições pontuais, baseadas no método secção-velocidade.

No sentido de ultrapassar a grande escassez de dados referentes ao escoamento em ilhas vulcânicas, Azevedo *et al.* (2002) desenvolveram uma metodologia genérica de resolução mensal, que procura estimar as componentes de escoamento baseadas no valor do superavit hídrico resultante do balanço hídrico climático, na variação da reserva de água no solo e ainda, na densidade de drenagem como fator de ponderação.

O principal *input* a considerar no balanço hídrico das ilhas Açorianas é a precipitação. Esta ocorre na sua maioria sob a forma de chuva ou, mais raramente, como granizo ou neve. A sua principal fonte é as massas de vapor formadas a partir do oceano.

### 2.3.1 ESCOAMENTO SUPERFICIAL NA ILHA TERCEIRA

#### 2.3.1.1 Modelo OPUS

Fontes (1999) quantificou e simulou, com o modelo OPUS (Smith, 1992), o escoamento superficial originado pela precipitação na Ilha Terceira sob diferentes práticas de uso e manejo do solo, com base nos registos obtidos em duas pequenas bacias experimentais localizadas no maciço vulcânico dos Cinco Picos. Os resultados obtidos evidenciam escoamentos superficiais anuais reduzidos, que rondam 1% da precipitação em zonas de pastagem permanente, independentemente do declive do terreno. No caso dos períodos de renovação de pastagem, caracterizados pela mobilização do solo e ausência de vegetação, este autor refere valores que correspondem a 17 % da precipitação.

Estes montantes são compatíveis com os escoamentos observados na maior parte das bacias hidrográficas dispostas no centro e sudoeste do maciço vulcânico dos Cinco Picos, onde os cursos de água apenas funcionam em situações de precipitação extrema.

O modelo OPUS (Smith, 1992) simula os processos hidrológicos no solo, nomeadamente, o escoamento, a erosão, o transporte de agro-químicos e o crescimento das culturas, num ambiente DOS.

Dada a complexidade do sistema, o modelo OPUS introduz hipóteses simplificadoras de modo a ser possível uma simulação satisfatória dos processos. A topografia de superfície tem de ser dividida em vários segmentos e em cada um é simulado o escoamento superficial. O perfil do solo, para efeitos de cálculo, é dividido em camadas pouco espessas, cujas espessuras correspondem a incrementos finitos, dentro das quais o potencial matricial, o teor de humidade e a condutividade hidráulica são considerados uniformes. O fluxo de água no solo é calculado em duas componentes, que correspondem às componentes do potencial de água total (fluxo difuso e fluxo gravitacional).

As condições de fronteira inferior para a resolução da equação que descreve o fluxo de água no solo (equação de Richards), estão localizadas logo abaixo da zona de enraizamento.

## 2 MODELAÇÃO DO CLIMA E DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL

A infiltração da água no solo pode ser calculada por dois métodos diferentes de acordo com os dados de precipitação disponíveis: i) hietogramas de precipitação; ii) totais diários de precipitação. Quando se dispõe apenas dos totais diários de precipitação, não se pode usar um modelo de infiltração. Neste caso, o modelo simula o escoamento superficial pelo método do número de escoamento (CN) do Soil Conservation Service (SCS, 1972) com algumas modificações. Se os dados dos hietogramas da precipitação estão disponíveis, é utilizado um método de simulação totalmente diferente desenvolvido por Smith e Parlange (1978).

O método de cálculo usado para simular a evapotranspiração foi desenvolvido por Ritchie (1972) a partir das equações de Penman (1948). A evapotranspiração cultural é calculada tendo em conta o teor de humidade no solo, o tipo e o estado de desenvolvimento das plantas. Um modelo de crescimento das plantas foi incluído no OPUS em resposta a quatro fatores relacionados com o crescimento: radiação, nutriente, temperatura e disponibilidade de água.

### 2.3.1.2 Bacias hidrográficas da Ilha Terceira

Caracterizam-se sumariamente as bacias hidrográficas da Ilha Terceira (Figura 1) com base nas cartas elaboradas por Madruga *et al.* (1986).

Apresentam-se as principais características das bacias hidrográficas da Ilha Terceira, resumidas em Rodrigues (2002):

- Com base nesta carta, foram individualizadas nesta ilha 78 unidades hidrológicas, das quais 44 correspondem a bacias hidrográficas fisicamente bem individualizadas e 34 a zonas agregadas a estas com escoamento mal estruturado;

- O primeiro grupo de estruturas ocupa, no seu conjunto, cerca de 62,6 % da superfície insular, comportando 33 bacias exorreicas e 11 endorreicas. O valor médio da sua área ronda os 5,88 km<sup>2</sup>, apresentando as dispostas no maciço de Santa Bárbara as dimensões menores e as implantadas na zona de transição, as maiores;

- As bacias endorreicas ocupam 1,76 % da área plana da ilha, dispendo-se na sua maioria no interior das caldeiras de Guilherme Moniz e de Santa Bárbara;

## *2 MODELAÇÃO DO CLIMA E DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL*

- Cerca de 37,4 % da superfície insular é constituída por zonas onde o escoamento superficial não é estruturado, evidenciando infiltrações elevadas no terreno. Em termos de unidades geomorfológicas, a zona de transição é a que apresenta uma área deste tipo maior, correspondente a 67 % da sua superfície;

- As bacias hidrográficas com mais do que 10 km<sup>2</sup> ocupam 40 % da área plana da ilha, dispendo-se maioritariamente nos maciços de Guilherme Moniz e dos Cinco Picos. As que apresentam dimensões mais reduzidas, com áreas planas iguais ou inferiores a 5 km<sup>2</sup>, são as mais comuns, atingindo maior expressão no maciço de Santa Bárbara.

## 2 MODELAÇÃO DO CLIMA E DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL

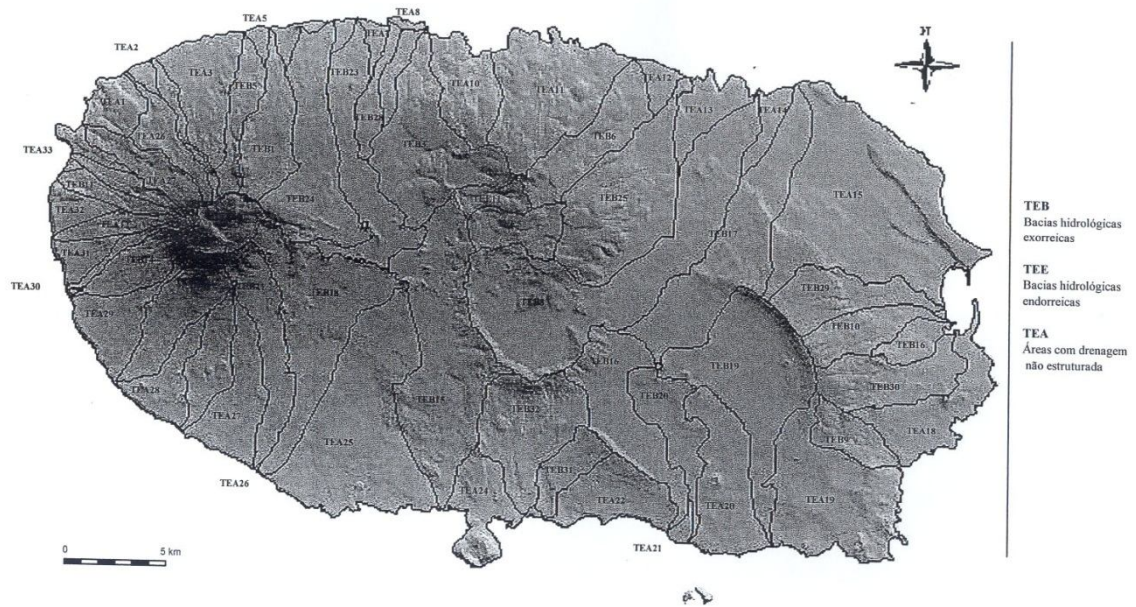


Figura 1 Bacias hidrográficas da ilha Terceira (adaptada de Rodrigues, 2002).

## 3 CARACTERIZAÇÃO E ENQUADRAMENTO DO LOCAL DE ESTUDO

---

No decurso deste capítulo foram caracterizados, genericamente, com base na bibliografia, no reconhecimento de superfície e em mapas utilizados em ambiente SIG, os condicionantes mais significativos para este trabalho, a nível do Arquipélago dos Açores e Ilha Terceira.

### 3.1 ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO

O arquipélago dos Açores é constituído por nove ilhas, situando-se no Oceano Atlântico e está a cerca de 2.000 km de distância da costa ocidental do continente Europeu e a menos de 3.000 km do extremo mais ocidental da América do Norte.

A Ilha Terceira localiza-se entre os paralelos de 38° 38'10'' e 38°47'40'' N e os meridianos de 27°03'00'' e 27°24'00'' W.

A ilha possui uma forma oval, com o eixo principal orientado na direcção E-W, com cerca de 29 km de comprimento máximo e uma largura máxima de 18 km, totalizando uma área de 397 km<sup>2</sup>.

### 3.2 HIDROGRAFIA

A escorrência superficial assume grande importância no arquipélago dos Açores, sendo determinada pelas características climáticas, pela geomorfologia, pela geologia e pela pedologia bem como, pelo revestimento vegetal e atividades antrópicas.

A Carta Hidrográfica da Ilha Terceira, produzida no âmbito deste trabalho a partir de dados da Secretaria Regional de Ciência, Tecnologia e Equipamento (SRCTE), permite identificar claramente o tipo de escoamento superficial que existe nesta ilha (Figura 2).

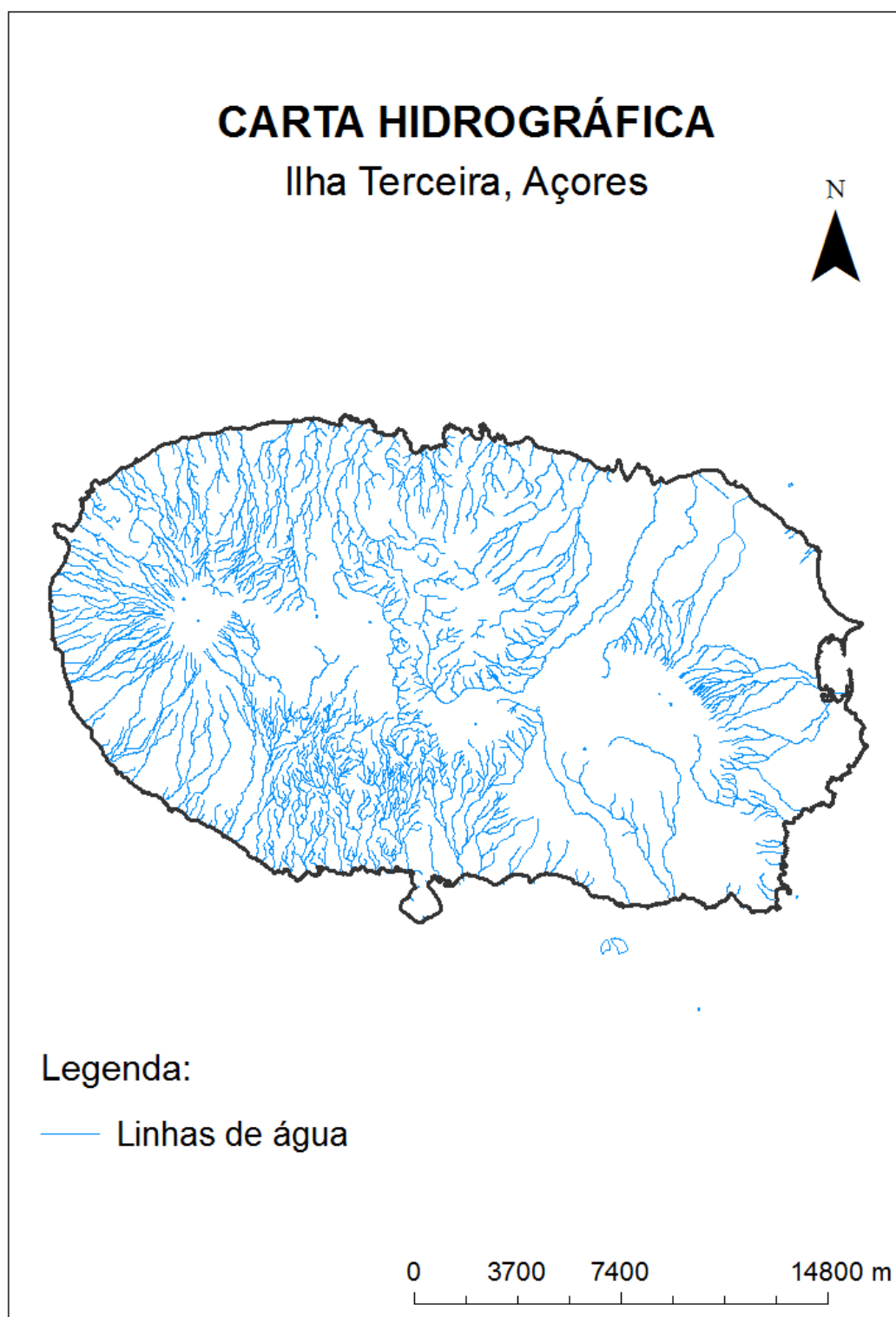


Figura 2 Carta Hidrográfica da Ilha Terceira.

A maior capacidade de drenagem verifica-se nas vertentes mais inclinadas onde dominam pastagens permanentes, enquanto a infiltração ocorre preferencialmente nas

### 3 CARACTERIZAÇÃO E ENQUADRAMENTO DO LOCAL DE ESTUDO

formações basálticas pouco alteradas, revestidas por estruturas arbustivas da vegetação natural, constituindo assim áreas importantes nas recargas dos aquíferos.

As formas de relevo são responsáveis, em grande parte, pela forma assumida pelas redes hidrográficas, especialmente neste ambiente insular jovem, onde a erosão ainda não desempenhou um papel muito preponderante na modelação da paisagem.

A média do escoamento superficial na ilha Terceira por unidade de superfície é de 509 mm, gerando um volume de  $205 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ , tendo estes valores sido calculados através do modelo CIELO (DROTRH/INAG, 2001).

#### 3.2.1 DEFINIÇÃO DE BACIA HIDROGRÁFICA

Uma bacia hidrográfica é uma área definida topograficamente, drenada por um curso de água ou por um sistema interligado de cursos de água tal que todos os caudais efluentes sejam descarregados através de uma única saída (secção de referência da bacia).

O contorno da bacia é definido pela linha de separação de águas que divide as precipitações que caem na bacia das que caem em bacias vizinhas, e que encaminham o escoamento superficial resultante para um ou outro sistema fluvial. A linha de separação das águas segue pelas linhas de cumeada em torno da bacia, atravessando o curso de água somente na secção de referência. Passa pelos pontos de máxima cota entre as bacias, o que não impede que no interior de uma bacia existam picos isolados com cotas superiores (Lencastre e Franco, 1992).

### 3 CARACTERIZAÇÃO E ENQUADRAMENTO DO LOCAL DE ESTUDO

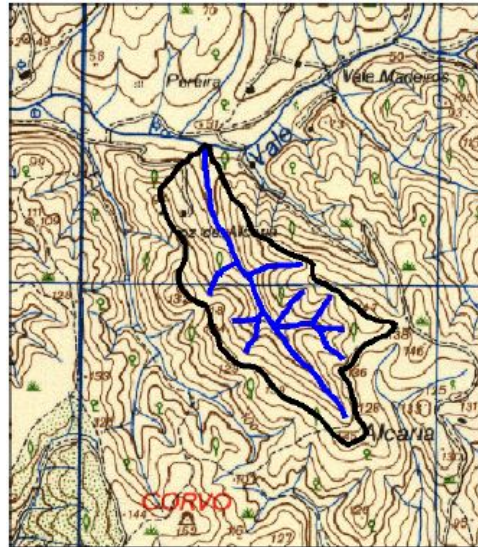


Figura 3 Tergo.

Um vale é a figura do terreno formada pelas encostas côncavas. À sua aresta dá-se o nome de talvegue, linha de córrego ou linha de reunião de águas. As águas pluviais que caem nas faces laterais de um vale correm para o talvegue, onde se reúnem, formando uma linha de água ou curso de água (Figura 4).

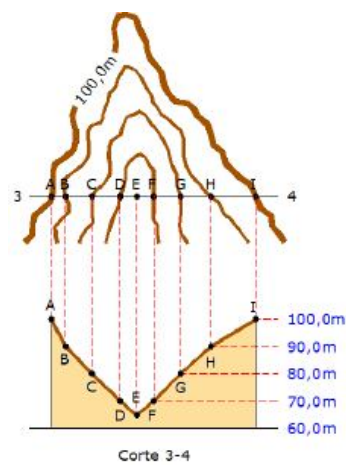


Figura 4 Vale.

### 3.3 GEOLOGIA

A ilha Terceira é um edifício vulcânico que apresenta, relativamente às outras ilhas Açorianas, uma grande diversidade litológica e estrutural. Tal como a maioria dos edifícios insulares atlânticos, resulta de um conjunto de processos vulcânico-tectónicos

### 3 CARACTERIZAÇÃO E ENQUADRAMENTO DO LOCAL DE ESTUDO

que incluem duas fases distintas: uma proto insular, que engloba erupções submarinas e emergentes e outra insular resultante da atividade eruptiva de carácter subaéreo.

Como critério de organização espaço-temporal, utilizou-se para referência os mesmos horizontes estratigráficos considerados por Self (1974, 1976) e Self e Gunn (1976), constituídos pelos depósitos ignimbríticos das Lages e de Angra com 20.000 e 23.000 anos B.P., respetivamente.

Em função desses níveis, que em conjunto afloram em grande parte da ilha, as rochas e formações da ilha Terceira foram agrupadas em duas unidades: (1) uma inferior, constituída por formações e estruturas mais antigas do que estes depósitos e (2) uma superior que, para além destes dois níveis de referência, inclui os materiais e estruturas depositados após a sua emissão.

As discontinuidades litológicas e os horizontes soterrados ocorrem com muita frequência, observando-se, nessas situações, intensos escoamentos laterais. As zonas de fratura numa escoada lávica favorecem a infiltração de água (PRAA, 2001).

#### 3.4 GEOMORFOLOGIA

As quatro principais unidades geomorfológicas da Ilha Terceira, são constituídas pelos estratovulcões de Cinco Picos, Guilherme Moniz e Santa Bárbara e ainda por uma faixa deprimida, localizada entre estes dois últimos aparelhos vulcânicos, designada por zona de transição.

O Maciço de Cinco Picos é dominado por duas grandes depressões: a caldeira de Cinco Picos e o *Graben* das Lajes, intercaladas entre elevações alongadas que constituem as Serras de Santiago, do Cume e da Ribeirinha. A Formação Traquibasáltica emitida por este vulcão é constituída por escoadas lávicas e depósitos piroclásticos de natureza traquibasáltica (Rodrigues, 2002).

O Maciço de Guilherme Moniz é dominado pela caldeira vulcanotectónica com o mesmo nome, que apresenta, no sector norte, o centro vulcânico do Pico Alto. Associada à actividade deste vulcão está um conjunto de lavas e depósitos piroclásticos

### 3 CARACTERIZAÇÃO E ENQUADRAMENTO DO LOCAL DE ESTUDO

de natureza traquítica. Ao Centro Vulcânico do Pico Alto estão associadas as Formações Ignimbríticas (Self, 1974, 1976).

Localizado na parte ocidental da ilha, o Maciço de Santa Bárbara exibe uma altitude máxima de 1.021 metros. É constituído por um grande estratovulcão de morfologia cónica, truncado no seu topo por uma caldeira de duplo abatimento. Inclui um conjunto de escoadas lávicas e materiais de projeção de natureza basáltica (Rodrigues, 2002).

Finalmente, o Sistema Fissural, localizado entre os maciços de Guilherme Moniz e Santa Bárbara, corresponde a uma área planáltica fraturada, com escoadas lávicas de natureza basáltica (Formação Basáltica Inferior) recentes e uma série de alinhamentos de cones de escória.

O conjunto de cúmulo-domas e domas-escoada que se podem observar na zona centro da ilha, estão associados à atividade eruptiva dos vulcões de Guilherme Moniz e de Santa Bárbara (constituindo as Formações peralcalinas do Pico Alto e de Santa Bárbara).

#### 3.5 VEGETAÇÃO

O coberto vegetal, controlando a interceção, a evapotranspiração e diminuindo a erosão, exerce um papel importante na estruturação e estabilização das redes de drenagem (PRAA, 2001).

As florestas açorianas fazem parte do elemento Macaronésio, na sua fácies mais Atlântica. Dias (1988, 1996) apresentou uma tipologia de vegetação com base fisiográfica e assente na estrutura florística das unidades, nomeadamente, a vegetação arborescente clímax, a vegetação costeira, a vegetação das zonas húmidas, as florestas de produção, as pastagens, as culturas permanentes (culturas arvenses) e as culturas múltiplas.

#### 3.6 SOLOS

As características pedológicas das bacias, governando a retenção de água, o escoamento sub-superficial, a infiltração e o coberto vegetal, exercem grande influência sobre o escoamento superficial (PRAA, 2001).

### 3 CARACTERIZAÇÃO E ENQUADRAMENTO DO LOCAL DE ESTUDO

A origem vulcânica das ilhas açorianas, associada às características do clima, determina o aparecimento em grande escala de uma categoria de solos, os Andossolos. Na fração argilosa destes solos existem materiais de fraca ordenação estrutural, especialmente, alofanos, imogolite, sílica opalina, ferridrite (Pinheiro, 1990), que lhes conferem propriedades muito distintas das de outros solos minerais, tais como baixa densidade aparente, porosidade elevada, dificuldade de dispersão, elevada capacidade de retenção de água, alteração irreversível após secagem, grande poder de fixação de fosfatos, carga variável elevada associada a elevados valores de pH em NaF e baixo teor em bases (Pinheiro, 1990).

Segundo Pinheiro (1990), os solos dos Açores podem subdividir-se em três tipos principais: Andossolos típicos (saturados e insaturados), Andossolos ferruginosos e solos pardos.

Os Andossolos típicos, saturados e insaturados, distribuem-se desde o nível do mar até aproximadamente 500 – 600 m de altitude, caso do local em estudo. São solos profundos, geralmente estratificados como resultado de acumulações periódicas, com horizontes superficiais escurecidos pela matéria orgânica e horizontes subsuperficiais pardo - amarelos a pardo – avermelhados. Apresentam uma textura predominantemente franca, à superfície a estrutura é grumosa ou granulosa, atenuando-se em profundidade pela presença de material pouco alterado, em geral de natureza ácida e, mais raramente, basáltica (Pinheiro, 1990).

Como consequência da sua baixa massa volúmica, os Andossolos dos Açores apresentam, em geral, uma elevada capacidade de retenção de água (Fontes, 1999):

- 0,14 cm cm<sup>-3</sup> na camada superficial de solo (até 15 cm de profundidade);
- 0,21 cm cm<sup>-3</sup> na camada de solo entre 15 e 40 cm de profundidade;
- 0,15 cm cm<sup>-3</sup> na camada de solo entre 40 e 90 cm de profundidade.

Apesar destes solos serem, em princípio, bem drenados, apresentam um elevado teor de humidade, por se desenvolverem em condições de humidade permanente (Fontes, 1999).

### *3 CARACTERIZAÇÃO E ENQUADRAMENTO DO LOCAL DE ESTUDO*

A classificação de solos de acordo com o Soil Conservation Service (1972) define quatro grupos hidrológicos de solos, de acordo com a taxa de infiltração, denominados A, B, C e D.

Assim, os mantos lávicos recentes pertencem grupo hidrológico de solos A, os Andossolos insaturados ao grupo hidrológico de solos B, os solos pardos e os Andossolos ferruginosos pertencem ao grupo hidrológico de solos C e os Andossolos saturados aos grupo hidrológico de solos (SCS, 1972; Fontes, 1999).

#### **3.7 USOS DO SOLO**

As classes de uso do solo do local estudado são a agrícola, a industrial, a urbana e lagoa.

#### **3.8 OCUPAÇÃO DO SOLO**

Existe variabilidade mensal da ocupação do solo do local estudado, o foi dividido nas classes de ocupação de solo nú, pastagem nova, pastagem, milho, edifícios, estradas, indústria e lagoa.

O solo estudado encontra-se ocupado com pastagem permanente nas zonas mais altas, rotação pastagem – milho – pastagem nas zonas mais baixas.

#### **3.9 CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA**

##### **3.9.1 ARQUIPÉLAGO DOS AÇORES**

O arquipélago dos Açores é caracterizado por um clima temperado húmido, sendo que, atendendo à variação da temperatura de ar com a altitude, o clima é frio oceânico nas regiões com altitudes elevadas, onde é excessivamente chuvoso.

Os Açores estão situados na zona subtropical dos anticiclones do hemisfério Norte, sendo o Anticiclone dos Açores o fator dominante das condições meteorológicas.

A latitude, a insularidade, o relevo e a corrente quente do Golfo do México são outros fatores cuja ação conjugada determina as características climáticas do arquipélago, em particular o seu regime termo-pluviométrico.

### 3 CARACTERIZAÇÃO E ENQUADRAMENTO DO LOCAL DE ESTUDO

A estação entre Setembro e Março é predominantemente chuvosa, sendo caracterizada pela passagem frequente de perturbações depressionárias associadas à frente polar. Nos restantes meses, a estação é menos chuvosa devido à influência do Anticiclone dos Açores.

Também a variabilidade dos estados do tempo está associada às oscilações em latitude do Anticiclone dos Açores e a perturbações da frente polar.

#### 3.9.2 ILHA TERCEIRA

Tal como as restantes ilhas do arquipélago, o clima da ilha Terceira é marcado por características oceânicas, traduzindo-se em pequenas amplitudes térmicas diárias e anuais, elevada precipitação, elevados teores de humidade atmosférica e pela presença de ventos persistentes.

A caracterização climática da Ilha Terceira é resumida dos dados provenientes do Instituto de Meteorologia (I.M., 2012).

##### 3.9.2.1 Precipitação

A caracterização sazonal do clima da ilha Terceira é particularmente ditada pelo regime pluviométrico. A variabilidade intra-anual da precipitação é bem evidente, com uma concentração nos meses de Inverno.

Assim, a precipitação direta acumulada no Inverno é superior a 300-400 mm em toda a ilha e atinge os 1.000 mm no cume da Serra de Santa Bárbara, enquanto que, no Verão, a precipitação varia entre 100-150 mm junto à costa, e valores superiores a 400 mm nos pontos mais altos.

De acordo com o Instituto de Meteorologia, a precipitação direta anual (1961-1990) na ilha Terceira não ultrapassa 3.400 mm no cume da Serra de Santa Bárbara, sendo que, na quase totalidade da ilha, a precipitação média atinge valores superiores a 1.000 mm/ano, como é o caso de Angra do Heroísmo, onde a precipitação média anual é de 1.125,6 mm.

### 3 CARACTERIZAÇÃO E ENQUADRAMENTO DO LOCAL DE ESTUDO

#### 3.9.2.2 Temperatura

Na ilha Terceira, a temperatura mínima do ar, no Inverno, varia entre menos de 4 °C e 12 °C. A temperatura máxima do ar, no Verão, situa-se entre os 14 °C e temperaturas do ar superiores a 23 °C.

Verifica-se que, na Ilha Terceira, a distribuição da temperatura média anual (período 1961-1990) varia entre 9 °C – 10 °C no cume da Serra de Santa Bárbara e foi cerca de 17 °C junto à costa.

#### 3.1.1.1 Humidade relativa

Na Ilha Terceira, a humidade relativa do ar é elevada, apresentando uma média anual mínima de 77%, em Angra do Heroísmo, e 74% nas Lajes – Aeroporto.

Os valores de humidade relativa do ar não variam muito ao longo do ano, verificando-se apenas uma variação ao longo do dia, que se acentua nos meses de Verão. Assim, verifica-se que os valores mínimos de humidade relativa do ar ocorrem durante a tarde, e os valores máximos durante a noite.

No entanto, segundo Agostinho (1948), as condições de humidade são diferentes no lado litoral Norte da Ilha, pois os ventos mais húmidos são do quadrante Sudoeste, os quais deixam boa parte da sua humidade sob a forma de nuvens estratiformes nas vertentes meridionais das montanhas que são forçadas a atravessar.

De acordo com Rodrigues (1993) nas zonas altas da ilha ocorrem ainda com muita persistência nevoeiros, os quais são responsáveis por importantes fenómenos de condensação de água junto à vegetação, superfície do solo e formações rochosas.

#### 3.9.2.3 Insolação diária real

A insolação diária real na ilha Terceira apresenta uma média anual de 1.594,8 horas (35%) em Angra do Heroísmo, e 1.905,2 horas (42%) nas Lajes – Aeroporto.

Os valores de insolação diária real variam ao longo do ano, verificando-se que aumentam nos meses de Verão.

### 3 CARACTERIZAÇÃO E ENQUADRAMENTO DO LOCAL DE ESTUDO

Verifica-se igualmente que, em Angra do Heroísmo, o valor máximo de insolação é de 50%, sendo de 56% nas Lajes – Aeroporto. Estes valores revelam um elevado índice de nebulosidade, característico das ilhas açorianas.

#### 3.9.2.4 Vento

O vento tem origem nas diferenças de pressão causadas pelo aquecimento diferencial da superfície terrestre, sendo influenciado por efeitos locais, pela orografia e rugosidade do solo. No entanto, a grande inconstância do vento, mesmo em regiões como os Açores, não vai ao ponto de tornar impossível estabelecer certas regras acerca do seu regime.

Assim, de uma maneira geral, pode afirmar-se que, no Grupo Central do Arquipélago dos Açores, predominam ventos do quadrante Oeste (Bettencourt, 1977). De acordo com o Instituto de Meteorologia, na Terceira, predominam os ventos de Oeste e Sudoeste.

É, no entanto, importante referir que, de acordo com Bettencourt (1977), existem diferenças de distribuição de ventos que ocorrem nas costas Norte e Sul da ilha Terceira. Refere este autor que, na costa Sul, predominam ventos de Oeste, exceto no período Junho – Setembro e Fevereiro, em que predominam ventos de Sudoeste. A maior frequência de ventos calmos, nesta costa, ocorre em Julho, e a menor em Março.

Na Costa Norte, os ventos de Noroeste predominam, exceto no período Dezembro – Março, em que os quadrantes dominantes são de Sul ou Sudoeste. Nesta costa, a maior frequência de ventos calmos ocorre em Julho, e a menor em Março.

#### 3.9.2.5 Evapotranspiração de referência

A evapotranspiração de referência é uma variável hidrológica bastante importante em todo o processo hidrológico na Região, condicionando fortemente as disponibilidades hídricas (PRAA, 2011).

A evapotranspiração de referência média anual nos Açores é de 1090 mm (PRAA, 2001).

### 3 CARACTERIZAÇÃO E ENQUADRAMENTO DO LOCAL DE ESTUDO

#### 3.9.2.6 Evapotranspiração real

A evapotranspiração real média anual nos Açores é de 581 mm e na ilha Terceira de 561 mm (PRAA, 2001).

### 3.10 ESCOAMENTO SUPERFICIAL

É de esperar que o escoamento superficial apresente uma variabilidade superior à da precipitação, provocada pelos efeitos de *lag* inerentes aos processos hidrológicos, que fazem coincidir as chuvas de fim de Inverno com valores de caudal significativos resultantes da drenagem de aquíferos (PRAA, 2001).

### 3.11 RECARGA AQUÍFERA

Nos Açores são gerados em média anualmente 690 mm de escoamento superficial e 150 mm de recarga aquífera (PRAA, 2001).

Na ilha Terceira, as taxas de recarga em relação à pluviosidade variam entre aproximadamente 16% e 49% (PRAA, 2001).

Muito embora se reconheça que o regime pluviométrico das ilhas dos Açores seja favorável a uma regularidade da recarga aquífera, o facto é que, dada a exiguidade territorial e estrutura geológica da generalidade das ilhas, a recarga aquífera não pode ser entendida como reserva disponível (PRAA, 2001).

O rápido e permanente rebatimento dos níveis freáticos deriva de vários fatores, tais como (PRAA, 2001):

- A descarga subterrânea natural, aliada aos caudais extraídos através de furos de captação, verificando-se frequentemente fenómenos de sobre-exploração de aquíferos;
- As descargas laterais dos aquíferos através de descontinuidades típicas de ambiente vulcânicos, que não foram contabilizadas no cálculo da reserva de água, uma vez que não são conhecidas;

### 3 CARACTERIZAÇÃO E ENQUADRAMENTO DO LOCAL DE ESTUDO

- Condições de apertada fronteira com o mar, que comprometem tanto a quantidade como a qualidade de água armazenada, nomeadamente, fenómenos de intrusão salina. A descarga subterrânea junto à linha de costa ou submarina não é igualmente levada em consideração, por impossibilidade de ser estimada.

Assim, as reservas de água doce têm um tempo de residência curto, quando comparado com a generalidade das condições continentais.

Segundo o Plano Regional da Água (PRAA, 2001), face à situação mencionada de falta ou ausência de dados, a estimativa das reservas de água nos aquíferos encontra-se sobrestimada, estando associado a uma significativa margem de erro. Paralelamente a esta questão, existe o facto de não se conhecer com rigor o volume de água presente no subsolo passível de ser captada. Com efeito, a localização e características geométricas e hidrodinâmicas podem até desaconselhar a sua exploração. Surgiu, assim, a necessidade de distinguir a disponibilidade de água de entre a totalidade da reserva, e de estabelecer com segurança, um intervalo de valores que corresponda a uma mais correta aproximação da realidade. Neste contexto, optou-se por considerar, para todos os aquíferos, um intervalo entre 10% a 20% do valor inicial estimado para as reservas aquíferas (PRAA, 2001). Este valor constitui a disponibilidade subterrânea e, segundo o Plano referido, deverá ser considerado como limite máximo de água disponível no aquífero.



## 4 SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

---

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) têm dois tipos de definições:

- Definição 1: "Um poderoso conjunto de ferramentas para guardar e encontrar, transformar e mostrar dados espaciais para um determinado conjunto de objetivos." (Burrough, 1986);

- Definição 2: "Os SIGs são simultaneamente o telescópio, microscópio, computador e fotocopadora da análise e síntese regional de dados espaciais." (Ron Abler, antigo presidente da *Association of American Geographers*, 1988).

Os SIGs são ferramentas particularmente úteis e importantes em Hidrologia, tanto a nível científico, como a nível da gestão dos recursos hídricos.

Devido à ocorrência da água variar espacial e temporalmente através do ciclo hidrológico, o seu estudo utilizando os SIGs, torna-se bastante prático.

A "acessibilidade" de dados hidrológicos traduziu-se numa grande apetência para incorporar tal informação na modelação matemática de processos hidrológicos. O desenvolvimento dos SIGs permitiu que estes sistemas adquirissem características que rapidamente os levaram a ser reconhecidos como ferramentas privilegiadas para aquela incorporação: "...bases de dados espaciais, sistemas de manipulação e técnicas analíticas são, hoje em dia, ferramentas vitais para a gestão de um meio ambiente que se pretende saudável..." (Kemp, 1993).

### 4.1 ARCGIS

O conjunto integrado de produtos de *software* utilizado neste estudo para a construção de um Sistema de Informação Geográfica foi o ESRI® ArcGIS 9.3. Neste trabalho foi utilizada a versão ArcInfo™ e as extensões ArcGIS® 3D Analyst e ArcGIS® Spatial Analyst.

### 4.2 MODELOS DE DADOS GEOGRÁFICOS

#### 4.2.1 MODELOS RASTER E VETORIAIS

Os modelos de dados geográficos utilizados neste trabalho foram os *raster*, em que a superfície contínua de um atributo é discretizada numa grelha regular, e os vetoriais, em que o espaço é ocupado por entidades discretas, definidas pelos seus atributos. Modelos digitais de terreno

Por Modelo Digital de Terreno (MDT) designa-se qualquer conjunto de dados em suporte numérico que, para uma dada zona, permita associar a qualquer ponto definido sobre o plano cartográfico um valor correspondente à sua altitude (Matos, 2007).

#### 4.2.2 ORTOFOTOS

Um ortofoto é um produto cartográfico que reúne as vantagens da fotografia aérea com as vantagens da cartografia convencional. Pode ser interpretada como uma fotografia mas, ao contrário desta, o ortofoto tem uma escala constante e pode-se medir diretamente ângulos, distância e áreas.

### 4.3 ANÁLISE ESPACIAL

A Análise Espacial efetuada neste trabalho foi realizada através da extensão *Spatial Analyst* e incluiu a álgebra de mapas, a modelação espacial e a interpolação.

O método de interpolação utilizado neste trabalho foi o chamado *Inverse Distance Weighted* (IDW), o qual avalia os valores das células calculando a média dos valores dos pontos de dados amostrados, na vizinhança de cada célula de processamento. Quanto mais próxima de um ponto é o centro da célula a ser estimado, mais influência, ou peso, tem no processo de média (ArcGIS 9.3 Desktop Help, 2012). Assim, o método de interpolação IDW é um interpolador uni variado de medias ponderadas, que atribui aos pontos pesos fracionários, porém, com soma igual a um.

O método de interpolação IDW é frequentemente utilizado em estudos climatológicos (Amorim *et al.*, 2008), o que motivou a sua utilização neste trabalho.

## 5 MODELAÇÃO HIDROLÓGICA DISTRIBUÍDA

---

### 5.1 INTRODUÇÃO

O modelo de balanço hidrológico tem, com variável de entrada, a precipitação total diária. Os valores de saída do balanço hidrológico em cada passo de cálculo, neste caso, de um dia, são a evapotranspiração real diária, a infiltração profunda diária e o escoamento superficial diário.

Os *inputs* e métodos utilizados para a criação do MHIDERIV e a simulação dos processos envolvidos no balanço hidrológico da bacia hidrográfica da Grota do Tapete são identificados na Tabela 1, bem como os *outputs* gerados.

Os dados utilizados neste trabalho são provenientes das estações agrometeorológicas da Granja, Ribeirinha, Bicas de Cabo Verde, Castelinho, São Sebastião e Porto Judeu. Utilizou-se, também, dados contidos na bibliografia (Fontes, 1999; Fontes *et al.*, 2002a; Fontes *et al.*, 2002b; Pinheiro, 1990); as cartas em formatos vetorial e *grid* com temas de altimetria, edifícios, estradas, geologia, hidrografia, fisiografia, ocupação de solo, uso e manejo de solo, grupos hidrológicos de solos; o modelo digital de terreno gerado no decurso deste trabalho e o ortofoto da zona estudada.

A estação de referência escolhida foi a da Granja por se localizar no interior da bacia hidrográfica da Grota do Tapete.



## 5 MODELAÇÃO HIDROLÓGICA DISTRIBUÍDA

Tabela 1 *Inputs* e métodos utilizados para a criação do MHIDRIV e a simulação dos processos envolvidos no balanço hídrico e *outputs* gerados.

<b>Processos envolvidos no balanço hídrico</b>	<b><i>Inputs</i></b>	<b>Métodos</b>	<b><i>Outputs</i></b>
ET <sub>0</sub> - Evapotranspiração de referência	<ul style="list-style-type: none"> <li>• MDT da bacia hidrográfica gerado no decurso deste trabalho.</li> <li>Parâmetros provenientes de cada estação:</li> <li>• T<sub>máx</sub> – Temperatura do ar máxima diária;</li> <li>• T<sub>mín</sub> – Temperatura do ar mínima diária;</li> <li>• RH<sub>máx</sub> – Humidade relativa máxima diária;</li> <li>• RH<sub>mín</sub> – Humidade relativa mínima diária;</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Simulação de ET<sub>0</sub> diária para cada estação, através da equação de Penman-Monteith- FAO (Allen <i>et al.</i>, 1998);</li> <li>2. Determinação da equação empírica de ET<sub>0</sub> diária em função da cota e do valor de ET<sub>0</sub> diária simulado para a estação de referência;</li> <li>3. Calibração da equação empírica de ET<sub>0</sub> diária;</li> <li>4. Validação da equação empírica de ET<sub>0</sub> diária;</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Grids</i> de ET<sub>0</sub> diária para a bacia hidrográfica.</li> </ul>

5 MODELAÇÃO HIDROLÓGICA DISTRIBUÍDA

Processos envolvidos no balanço hídrico	<i>Inputs</i>	<i>Métodos</i>	<i>Outputs</i>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>R_s</math> - Radiação global ou n – insolação diária real,</li> <li>• <math>U_2</math> - Velocidade do vento a 2 m de altura;</li> <li>• Latitude da estação;</li> <li>• Cota altimétrica da estação.</li> </ul>	5. Distribuição de $ET_0$ diária para a bacia hidrográfica.	

## 5 MODELAÇÃO HIDROLÓGICA DISTRIBUÍDA

Processos envolvidos no balanço hidrológico	<i>Inputs</i>	Métodos	<i>Outputs</i>
ET <sub>R</sub> - Evapotranspiração real	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Shapefile</i> de usos de solo da bacia hidrográfica</li> <li>• Ortofoto da bacia hidrográfica;</li> <li>• Tabela de K<sub>c</sub>'s (coeficientes culturais) com variação mensal, para cada ocupação de solo na bacia hidrográfica;</li> <li>• <i>Grids</i> de ET<sub>0</sub> diária para a bacia hidrográfica.</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Geração do <i>shapefile</i> de ocupação de solo na bacia hidrográfica, com base no <i>shapefile</i> de usos de solo e no ortofoto da bacia;</li> <li>2. Associação da tabela de K<sub>c</sub>'s mensais ao <i>shapefile</i> de ocupação de solo da bacia hidrográfica;</li> <li>3. Conversão do <i>shapefile</i> de ocupação do solo da bacia hidrográfica para <i>grids</i> mensais de K<sub>c</sub>;</li> <li>4. Seleção da <i>grid</i> mensal de K<sub>c</sub> adequada e multiplicação pela <i>grid</i> de ET<sub>0</sub> diária.</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Grids</i> mensais de K<sub>c</sub>'s para a bacia hidrográfica;</li> <li>• <i>Grids</i> de ET<sub>R</sub> diárias para a bacia hidrográfica.</li> </ul>

## 5 MODELAÇÃO HIDROLÓGICA DISTRIBUÍDA

<b>Processos envolvidos no balanço hidrológico</b>	<b><i>Inputs</i></b>	<b>Métodos</b>	<b><i>Outputs</i></b>
P – Precipitação total	<ul style="list-style-type: none"> <li>• P diária observada em cada estação;</li> <li>• MDT da bacia hidrográfica gerado no decurso deste trabalho.</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Determinação da equação empírica de P diária em função da cota e do valor de P diária observada na estação de referência;</li> <li>2. Calibração e validação da equação empírica de P diária;</li> <li>3. Distribuição de P diária para a bacia hidrográfica.</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Grids</i> de P diária para a bacia hidrográfica</li> </ul>

## 5 MODELAÇÃO HIDROLÓGICA DISTRIBUÍDA

Processos envolvidos no balanço hidrológico	<i>Inputs</i>	<i>Métodos</i>	<i>Outputs</i>
Esc Sup - Escoamento superficial	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Carta de Tipos de Solos da bacia;</li> <li>• Carta de Grupos Hidrológicos de Solos (A, B, C e D) da bacia;</li> <li>• Tabela de CN (número de escoamento) (SCS, 1972);</li> <li>• Tabela de CN da Granja e Ribeirinha (Fontes, 1999);</li> <li>• Carta de ocupação de solo para a bacia hidrográfica;</li> <li>• <i>Grids</i> diárias de P para a bacia hidrográfica;</li> <li>• Valores de <math>I_a</math> (quantidade total de precipitação até ao início da formação de</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Conversão da Carta de Tipos de Solos para Carta de Grupos Hidrológicos de Solos (A, B, C e D);</li> <li>2. Com o MDT da bacia hidrográfica, criação da <i>grid</i> de declives em % para a bacia hidrográfica e multiplicação por 100, obtendo a <i>grid</i> de declives em m/m;</li> <li>3. Ajustamento dos valores de CN para a situação de humidade do solo AM CII e para os Açores, baseados nos valores de CN das tabelas do Soil Conservation Service</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Grids</i> diárias de Esc Sup para a bacia hidrográfica.</li> </ul>

5 MODELAÇÃO HIDROLÓGICA DISTRIBUÍDA

Processos envolvidos no balanço hidrológico	<i>Inputs</i>	<i>Métodos</i>	<i>Outputs</i>
	<p>escoamento superficial ou perdas iniciais) e <math>S_a</math> (quantidade de água que pode ser retida pelo solo e que não contribui para o escoamento superficial), para solos idênticos ao da bacia hidrográfica, neste caso, da Granja (Fontes, 1999);</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Equações de Williams <i>et al.</i> (1990) para cálculo de CN do grupo B para as as situações antecedentes de humidade do solo AMC I e AMC III, a partir dos CN's do grupo B e da situação antecedente de humidade no solo média</li> </ul>	<p>(1972) e nos dados referidos em Fontes (1999), para todos os grupos hidrológicos de solo (A, B, C e D) e ocupações de solo presentes na bacia hidrográfica;</p> <p>4. Tabela de CN's – Número de Escoamento, com variação mensal, para cada ocupação e manejo de solo, para cada grupo hidrológico de solo (A, B, C e D) e para cada situação de humidade do solo (AM CI, AM CII e AM CIII) da bacia hidrográfica;</p> <p>5. Ajuste da Carta de CN's para o</p>	

## 5 MODELAÇÃO HIDROLÓGICA DISTRIBUÍDA

Processos envolvidos no balanço hidrológico	<i>Inputs</i>	<i>Métodos</i>	<i>Outputs</i>
	<p>(AMC II) de todas as ocupações de solo na bacia;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Equações de Rallison (1978) e de Ederlin e Markowitz (1962) para efetuar o cálculo de CN's para os grupos hidrológicos de solo A, C e D a partir dos CN's do grupo B para cada situação antecedente de humidade do solo (AM CI, AMC II e AMC III);</li> <li>• MDT da bacia hidrográfica gerado no decurso deste trabalho;</li> <li>• <i>Grid</i> de declives em m/m, para a bacia hidrográfica;</li> </ul>	<p>declive no local pela equação do Soil Conservation Service (SCS), recorrendo à <i>grid</i> de declives em m/m;</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>6. Determinação do Escoamento Superficial pelo método do Número do Escoamento – CN (SCS):</li> <li>7. Cálculo da média do rácio <math>I_a/S_a</math>, através dos valores apresentados em Fontes (1999) para pastagem permanente (bacia da Granja), para calibração da equação de escoamento;</li> <li>8. Equação de <math>P_n</math> – Precipitação</li> </ol>	

## 5 MODELAÇÃO HIDROLÓGICA DISTRIBUÍDA

Processos envolvidos no balanço hidrológico	<i>Inputs</i>	<i>Métodos</i>	<i>Outputs</i>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Grids</i> mensais de <math>CN_s</math> (CN's ajustados para o declive) para a bacia hidrográfica.</li> </ul>	<p>eficaz (equivalente a escoamento superficial diário), em função de CN, utilizando o rácio de <math>I_a/S_a</math> calibrado para a bacia hidrográfica;</p> <p>9. Criação da Carta de Escoamento Superficial diário para a bacia hidrográfica através de álgebra de mapas, utilizando a <i>grid</i> diária de P e as <i>grids</i> de CN.</p>	
Inf - Infiltração profunda	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Grid</i> diária de P para a bacia hidrográfica;</li> <li>• <i>Grid</i> diária de <math>ET_R</math> para a bacia hidrográfica;</li> </ul>	1. Criação da Carta de Infiltração Profunda diária para a bacia hidrográfica, através de álgebra de mapas, utilizando	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Grids</i> diárias de Inf pro para a bacia hidrográfica</li> </ul>

## 5 MODELAÇÃO HIDROLÓGICA DISTRIBUÍDA

<b>Processos envolvidos no balanço hidrológico</b>	<b><i>Inputs</i></b>	<b>Métodos</b>	<b><i>Outputs</i></b>
	<ul style="list-style-type: none"><li>• <i>Grid</i> diária de Esc Sup para a bacia hidrográfica.</li></ul>	as <i>grids</i> diárias de P, ET <sub>R</sub> e Esc Sup.	

## *5 MODELAÇÃO HIDROLÓGICA DISTRIBUÍDA*

## 5 MODELAÇÃO HIDROLÓGICA DISTRIBUÍDA

A altimetria ou o modelo digital do terreno da bacia hidrográfica da Grota do Tapete constituirá a cartografia de base para o este do trabalho. Esta carta foi trabalhada com vista à modelação hidrológica. Muita da informação respeitante a uma bacia hidrográfica pode ser conhecida apenas a partir da altimetria; será necessário conhecer, nomeadamente, a área de influência da bacia hidrográfica e os padrões de escoamento dentro da bacia.

Em primeiro lugar, foram preenchidos os “poços” (depressões no terreno rodeadas por pontos mais elevados) que se criaram artificialmente aquando da interpolação de curvas de nível. Com a carta assim trabalhada, foi possível gerar uma carta de direção de escoamento. Esta carta permitiu traçar os caminhos preferenciais do escoamento, permitindo também conhecer, para cada ponto, qual a área da bacia hidrográfica que gera o escoamento que passa por ele e, assim, estimar os padrões de escoamento. Toda a área que não converge para um ponto de saída da bacia considerou-se fora da bacia hidrográfica, permitindo assim traçar o seu limite físico.

A modelação espacial serve para efetuar a simulação de fenómenos com uma componente espacial explícita, onde um modelo simula a realidade através de métodos matemáticos. A modelação espacial é utilizada para estimar informação difícil de medir no campo ou de calcular com álgebra de mapas (ver Figura 5).

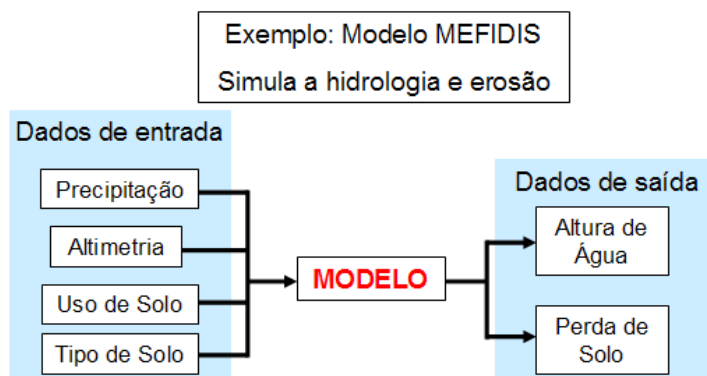


Figura 5 Modelação espacial – exemplo do Modelo MEFIDIS, que simula a hidrologia e a erosão (Seixas, 2007).

## 5 MODELAÇÃO HIDROLÓGICA DISTRIBUÍDA

A modelação espacial tem a seguinte sequência (ver Figura 6):

1. Análise de uma área em formato *raster*: discretização;
2. Estimativa das propriedades de um *pixel* em função dos seus atributos: simulação.

Exemplos:

Hidrologia =  $f$  (declive, solo)

Erosão =  $f$  (hidrologia, declive, solo, coberto vegetal)

3. Estimativa das propriedades de um *pixel* em função dos atributos da vizinhança: distribuição. Exemplo: a água e os sedimentos soltos por erosão movem-se na direcção da inclinação maior.

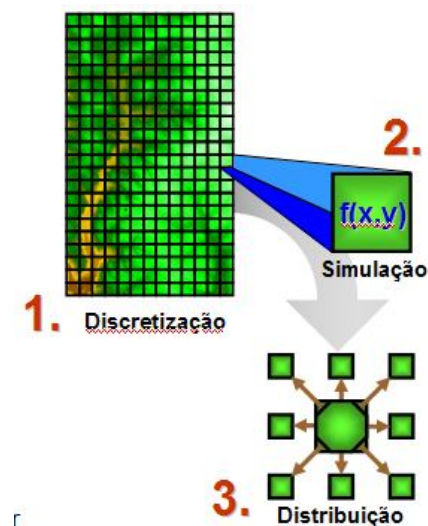


Figura 6 Modelação espacial (Seixas, 2007).

A utilização de modelos hidrológicos distribuídos, permite aplicar os algoritmos de cálculo a unidades espaciais bastante reduzidas, permitindo captar a variabilidade espacial natural inerente a uma bacia, nomeadamente em termo das suas características físicas. O desenvolvimento dos SIG's e a sua integração com modelos distribuídos veio abrir novas perspetivas na caracterização dessa variabilidade espacial, estimulando o desenvolvimento de modelos de simulação dos processos hidrológicos de bacias hidrográficas.

## 5 MODELAÇÃO HIDROLÓGICA DISTRIBUÍDA

Os parâmetros necessários à simulação em ambiente SIG, utilizando o modelo desenvolvido, dos processos envolvidos no escoamento superficial e na infiltração profunda e os respetivos mapas de origem foram inter-relacionados anteriormente e estão descritos na tabela 1.

A resolução espacial dos valores assumidos pela modelação dos diferentes elementos climáticos em apreciação será equivalente à resolução do modelo tridimensional do terreno, sendo atribuído a cada célula um único valor da variável modelada.

A resolução temporal do modelo desenvolvido é diária.

### 5.2 MODELO DIGITAL DE TERRENO

O Modelo Digital do Terreno (MDT) da Ilha Terceira gerado neste trabalho, é uma representação da ilha baseada num conjunto de coordenadas X, Y, Z. As coordenadas Z representam valores de altitude e profundidade no modelo tridimensional que contem o atributo elevação.

Em ambiente SIG, a informação de base (pontos cotados, linhas de taludes e socacos) foi exportada do formato DWG para *shapefile* que, em adição ao *shapefile* contendo a linha de costa da ilha, foram, posteriormente utilizados, através da caixa de ferramentas do ArcGIS denominada *3D Analyst Tools*, para criar uma superfície TIN (*Triangulated Irregular Network*), a qual foi convertida em vários *rasters* com células com das seguintes dimensões: 10 x 10 m<sup>2</sup>, 25 x 25 m<sup>2</sup>, 48 x 48 m<sup>2</sup>, 80 x 80 m<sup>2</sup> e 128 x 128 m<sup>2</sup>.

O melhor resultado foi obtido através da criação de um MDT com células com dimensão de 25 x 25 m<sup>2</sup>, constituindo a cartografia de base utilizada neste trabalho (Figura 14).

#### 5.2.1 CARTAS DERIVADAS DO MDT

No decurso deste trabalho foram criadas cartas derivadas do MDT da Ilha Terceira (Figura 14), através da caixa de ferramentas do ArcGIS denominada *Spatial Analyst Tools*,

## 5 MODELAÇÃO HIDROLÓGICA DISTRIBUÍDA

no sentido de melhor interpretar os resultados do modelo hidrológico distribuído, nomeadamente:

- Carta altimétrica (Figura 16);
- Carta de direção de declive (Figura 17);
- Carta de declives, em graus (Figura 18);
- Carta de declive, em percentagem (Figura 19);
- Carta de declive em m/m (Figura 20);
- Carta de convexidade/concavidade (Figura 21);
- Carta de curvatura da superfície, na direção do declive (Figura 22);
- Carta de curvatura da superfície, perpendicular à direção do declive (Figura 23).

Após a criação da carta de bacias hidrográficas da Ilha Terceira (Figura 26), cujo método é referido no decurso deste trabalho, e a identificação da bacia hidrográfica da Ribeira do Tapete, a área desta bacia foi utilizada para a criação dos tipos de cartas supramencionados para o local estudado, utilizando também a caixa de ferramentas do ArcGIS.

### 3.1.1.1 Carta das bacias hidrográficas da Ilha Terceira

No decurso deste trabalho foram definidas, em SIG, as bacias hidrográficas da ilha Terceira (Figura 26), com base no MDT da Ilha Terceira gerado (Figura 14), através da caixa de ferramentas do ArcGIS denominada *Spatial Analyst Tools*, nomeadamente, das ferramentas da caixa *Hidrology*.

Primeiramente, foram preenchidos os “poços” (depressões no terreno rodeadas por pontos mais elevados) que se criam artificialmente aquando da interpolação de curvas de nível. Com a carta assim trabalhada, foi possível gerar uma carta de direção de fluxo (Figura 24). Esta carta permitiu traçar os caminhos preferenciais do escoamento, bem como conhecer, para cada ponto, qual a área da bacia hidrográfica que gera o escoamento que passa por esse ponto e assim estimar os padrões de escoamento, através da carta de acumulação de fluxo (Figura 25). Toda a área que não converge para um ponto de saída da bacia considera-se fora da bacia hidrográfica, permitindo assim traçar o seu limite físico.

## 5 MODELAÇÃO HIDROLÓGICA DISTRIBUÍDA

A bacia hidrográfica da Grotta do Tapete foi identificada a partir da carta das bacias hidrográficas da Ilha Terceira criada no decurso deste trabalho com a metodologia acima referida (Figura 26).

### 5.3 ESTAÇÕES AGRO-METEOROLÓGICAS

As estações agro-meteorológicas para recolha de dados climáticos utilizadas neste trabalho foram as seguintes:

#### 5.3.1 ESTAÇÃO DA GRANJA

Localização: Granja

Entidade: Universidade dos Açores

Latitude: 38° 41' 45.46" N

Longitude: 27° 10' 14.60" W

Altitude (m): 372

#### 5.3.2 ESTAÇÃO DA RIBEIRINHA

Localização: Serra da Ribeirinha

Entidade: Universidade dos Açores

Latitude: 38° 40' 22.80" N

Longitude: 27° 10' 35.30" W

Altitude (m): 399

As estações localizadas na Granja e Ribeirinha, são estações meteorológicas de registo digital e autónomas. As variáveis meteorológicas medidas e utilizadas no âmbito deste trabalho foram: temperatura do ar, velocidade e direção do vento, radiação solar global de curto comprimento de onda e precipitação. O intervalo de cada leitura nos diferentes sensores foi de 2 minutos (Fontes, 1999).

#### 5.3.3 ESTAÇÃO DO PORTO JUDEU

Localização: Porto Judeu

## 5 MODELAÇÃO HIDROLÓGICA DISTRIBUÍDA

Entidade: Interfruta MAC/3.1A1

Latitude: 38° 38' 56.34" N

Longitude: 27° 06' 33.73" W

Altitude (m): 22

### 5.3.4 ESTAÇÃO DA BICAS DE CABO VERDE

Localização: Bicas de Cabo Verde

Entidade: Interfruta MAC/3.1A1

Latitude: 38° 40' 03.59" N

Longitude: 27° 14' 25.59" W

Altitude (m): 128

### 5.3.5 ESTAÇÃO DA S. SEBASTIÃO

Localização: S. Sebastião

Entidade: Interfruta MAC/3.1A1

Latitude: 38° 40' 23.55" N

Longitude: 27° 04' 43.32" W

Altitude (m): 41

### 5.3.6 ESTAÇÃO DO CASTELINHO

Localização: Baía de Angra do Heroísmo

Entidade: CLIMAAT

Latitude: 38° 39' 07" N

Longitude: 27° 12' 49" W

Altitude (m): 14,4

Fonte: Site do Projeto CLIMAAT (CLIMAAT, 2011).

## 5 MODELAÇÃO HIDROLÓGICA DISTRIBUÍDA

A carta das estações utilizadas na construção do Modelo Hidrológico Distribuído a aplicado à bacia hidrográfica da Grota do Tapete, produzida no âmbito deste trabalho, é seguidamente apresentada (Figura 7), bem como o gráfico que identifica as distâncias entre cada estação e a bacia referida (Figura 8).

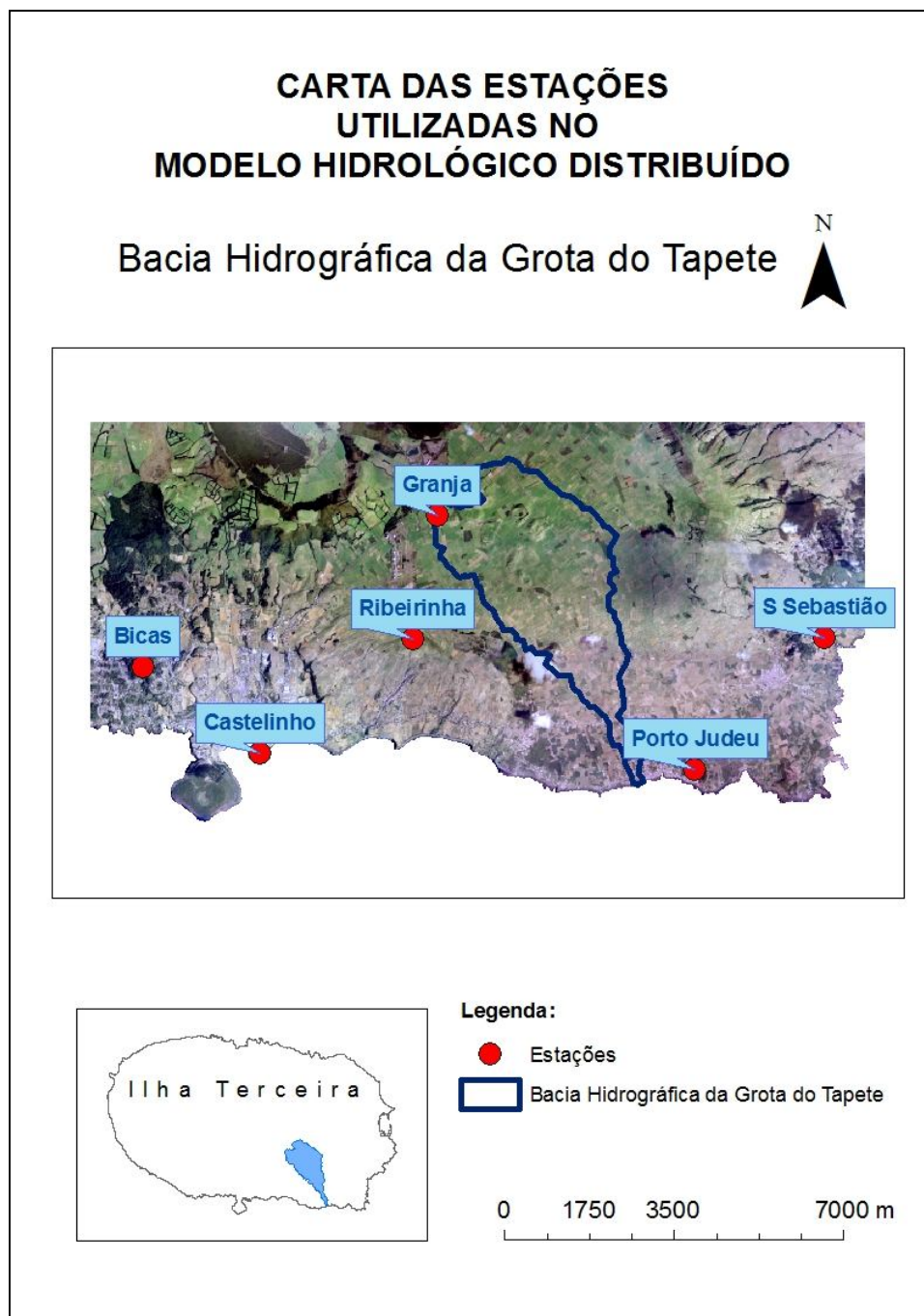


Figura 7 Carta das estações utilizadas na construção do Modelo Hidrológico Distribuído aplicado à Bacia Hidrográfica da Grota do Tapete.

## 5 MODELAÇÃO HIDROLÓGICA DISTRIBUÍDA

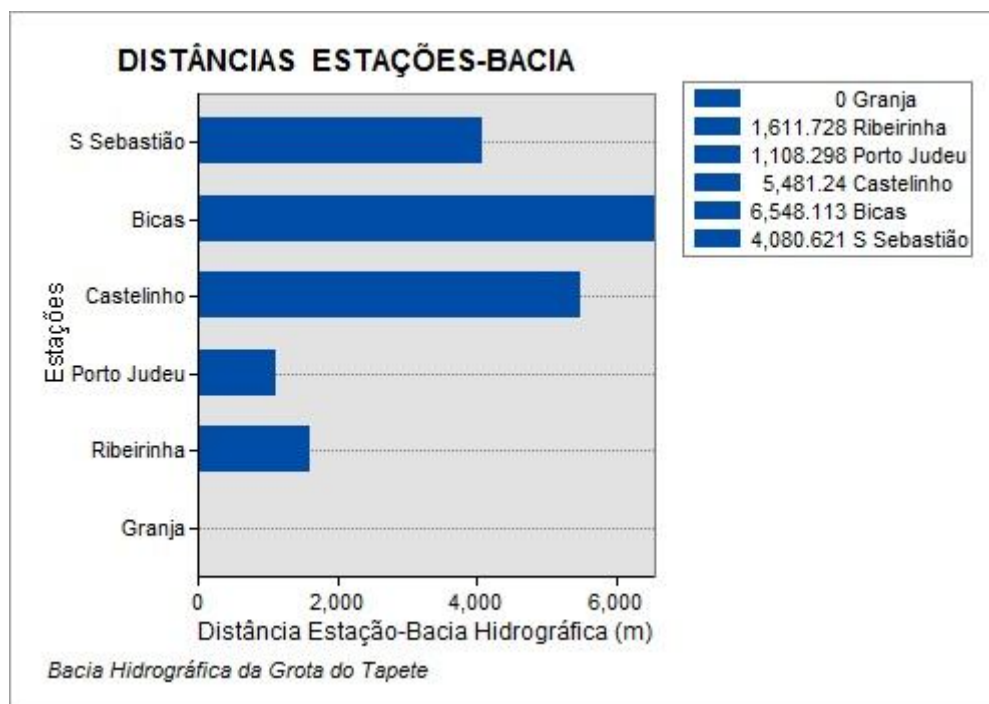


Figura 8 Gráfico de distâncias entre as estações e a bacia hidrográfica da Grotta do Tapete.

A localização das estações pode também ser apreciada através das seguintes figuras geradas através do *ArcScene*, um dos componentes do *software* ArcGIS 9.3 que permite visualizar uma superfície em três dimensões (Figura 9, Figura 10, Figura 11, Figura 12 e Figura 13), utilizando o MDT da Ilha Terceira gerado neste trabalho (Figura 14), o ortofoto da Ilha e os pontos que localizam as estações.

## 5 MODELAÇÃO HIDROLÓGICA DISTRIBUÍDA

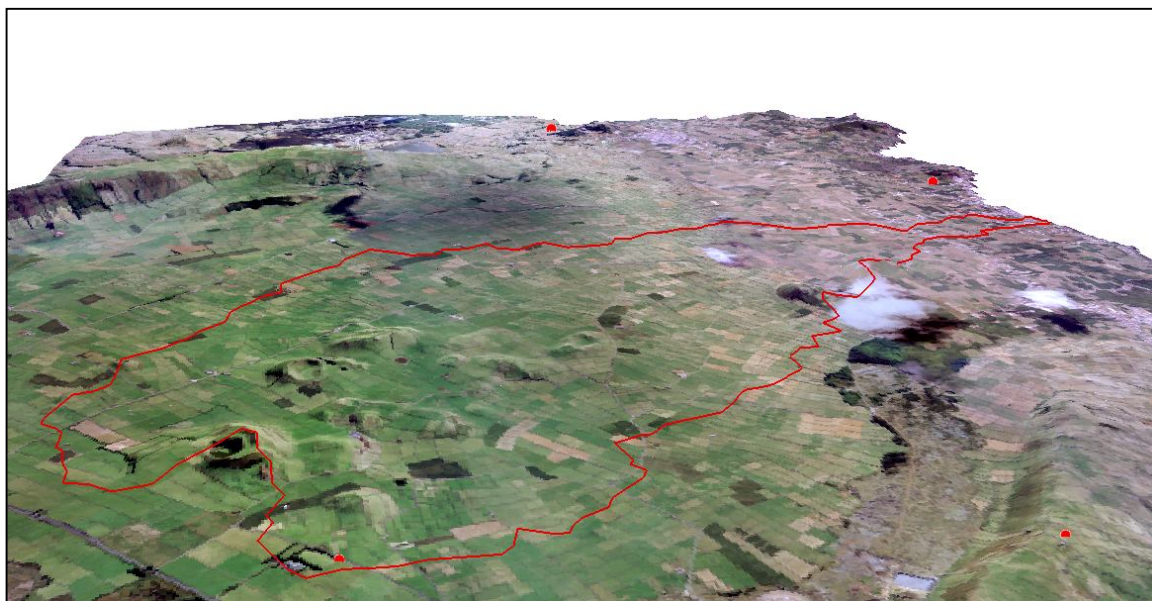


Figura 9 Bacia da hidrográfica da Grota do Tapete e, da esquerda para a direita, estações da Granja, S. Sebastião, Porto Judeu e Ribeirinha.

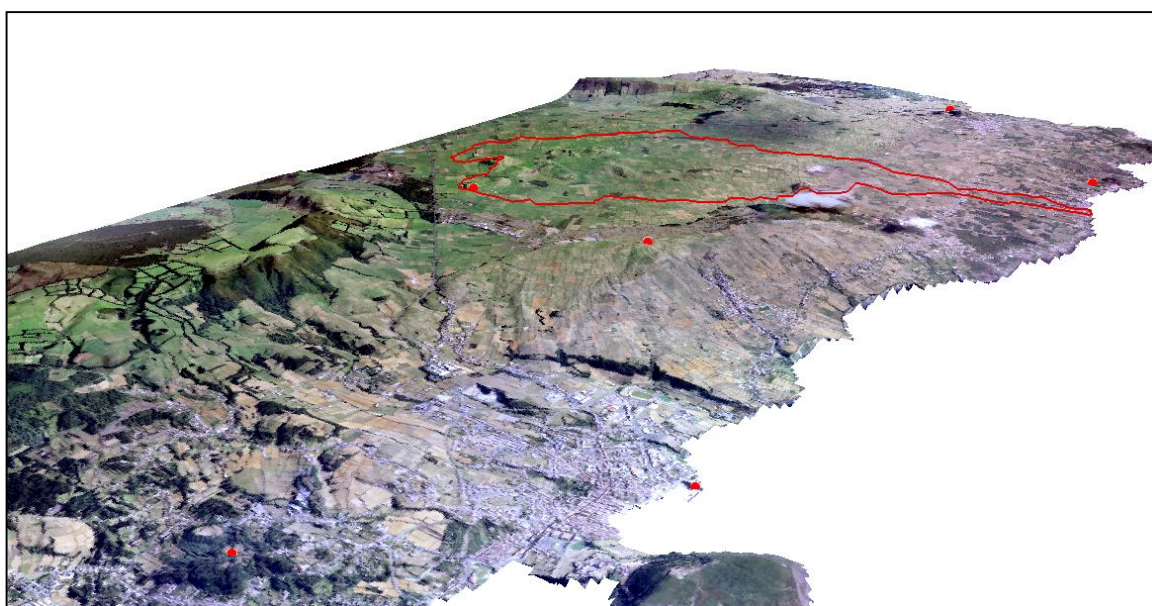


Figura 10 Bacia da hidrográfica da Grota do Tapete e, da esquerda para a direita, estações das Bicas de Cabo Verde, Granja, Ribeirinha, Castelinho, São Sebastião e Porto Judeu.

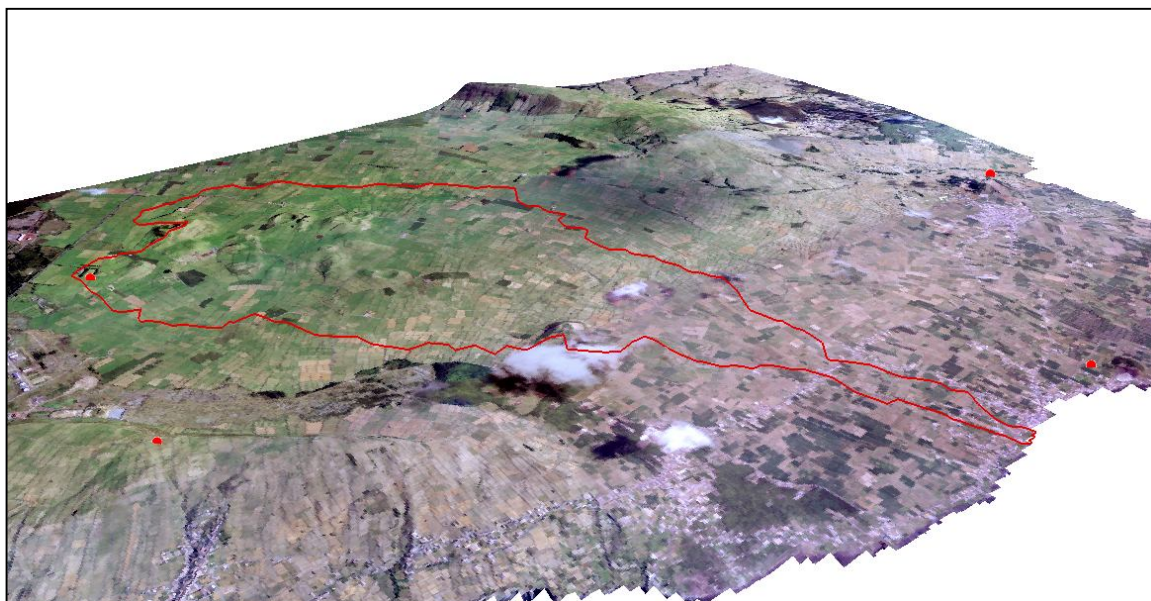


Figura 11 Bacia da hidrográfica da Grotta do Tapete e, da esquerda para a direita, estações da Granja, Ribeirinha, São Sebastião e Porto Judeu.

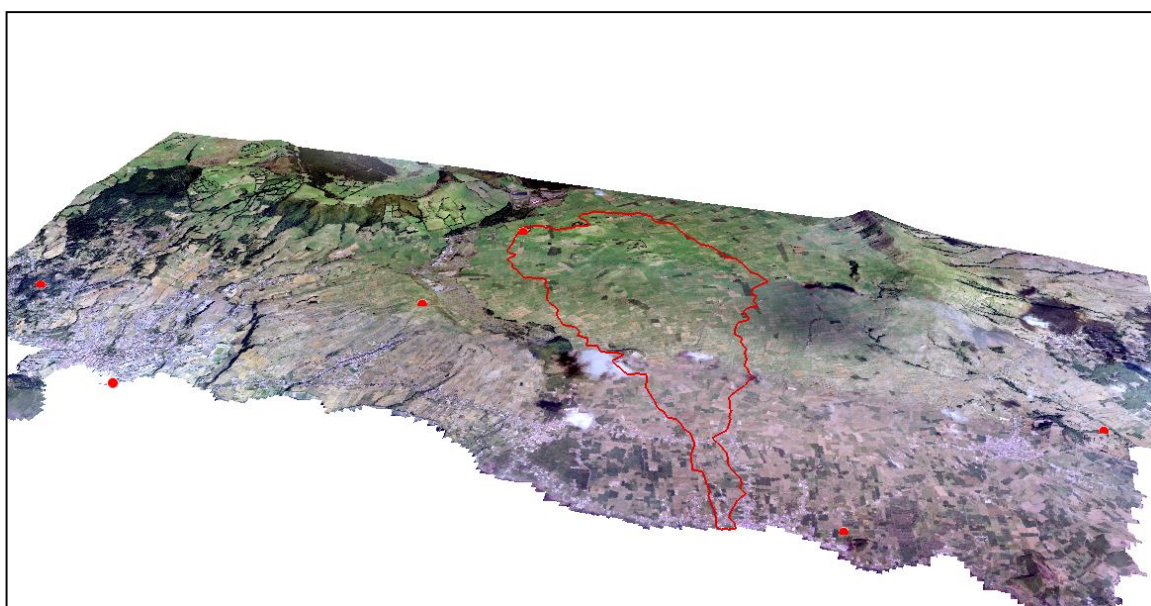


Figura 12 Bacia da hidrográfica da Grotta do Tapete e, da esquerda para a direita, estações das Bicas de Cabo Verde, Castelinho, Ribeirinha, Granja, Porto Judeu e S. Sebastião.

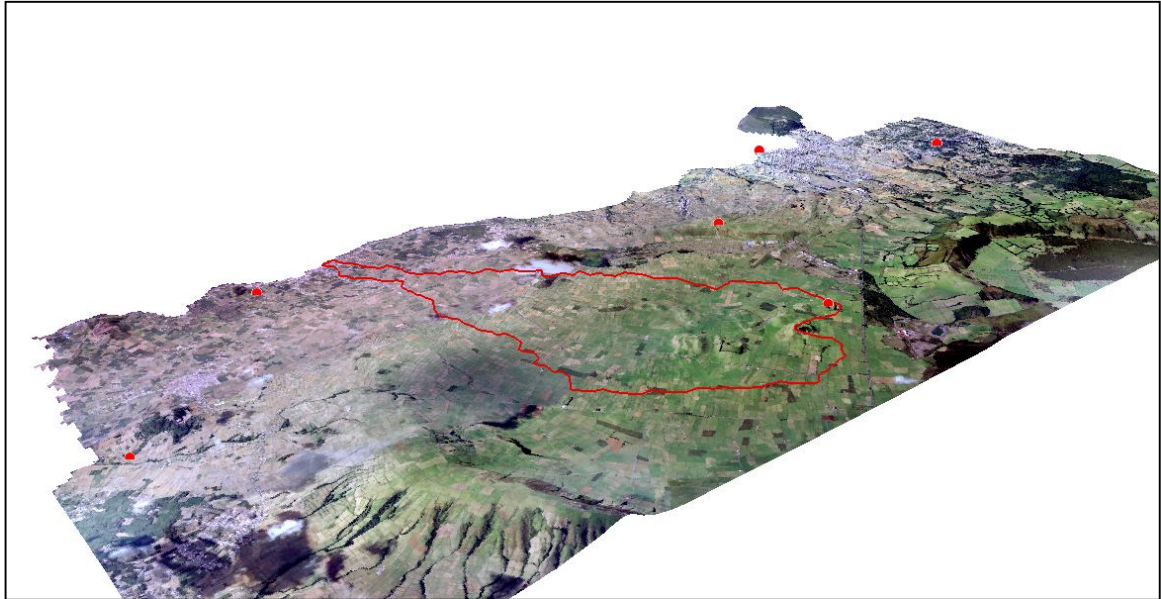


Figura 13 Bacia da hidrográfica da Grota do Tapete e, da esquerda para a direita, estações de S. Sebastião, Porto Judeu, Ribeirinha, Castelinho, Granja e Bicas de Cabo Verde.

### 5.4 DADOS METEOROLÓGICOS

Para a concretização dos objetivos deste trabalho, deu-se especial relevância aos parâmetros que interessam ao estabelecimento do balanço hídrico, nomeadamente, à precipitação, à evapotranspiração real, ao escoamento superficial e infiltração profunda.

Nesse sentido, os dados climáticos da precipitação, temperatura, humidade relativa do ar, velocidade do vento e radiação líquida foram recolhidos pelas estações agrometeorológicas da Granja, da Ribeirinha, das Bicas de Cabo Verde, do Castelinho, de São Sebastião e do Porto Judeu e da bibliografia disponível (Fontes, 1999). A base dados foi estruturada e o seu processamento efetuado, através de fórmulas físicas, no programa *Excel* do *Microsoft Office*.

### 5.4.1 PRECIPITAÇÃO

Neste subcapítulo são apresentados os gráficos da precipitação diária para as estações acima referidas, para o ano de 2008.

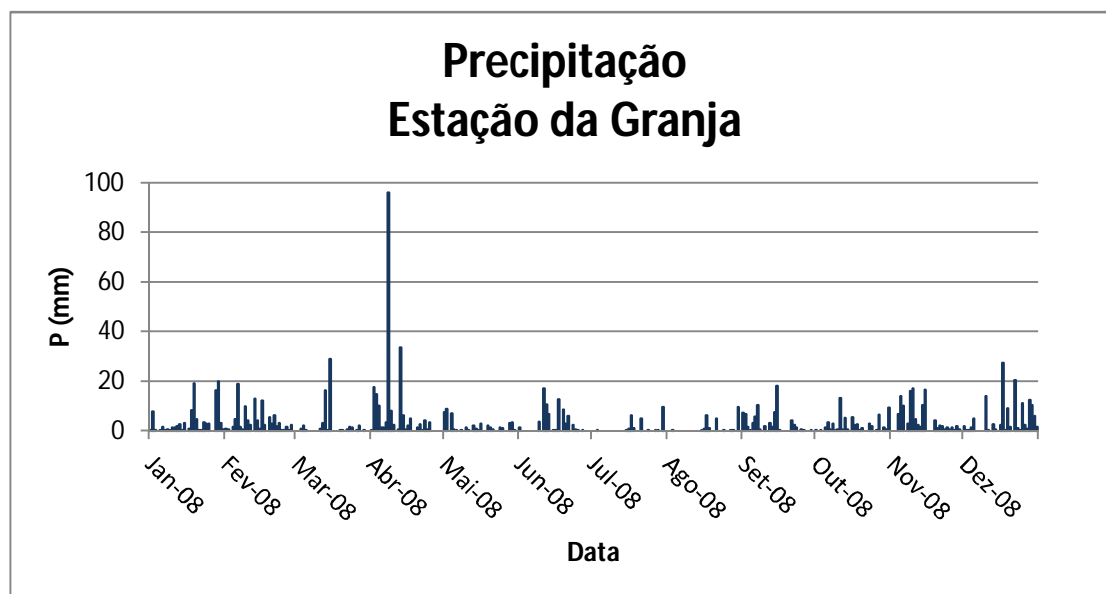


Gráfico 1 Precipitação na Estação da Granja, em 2008.

A precipitação registada na estação da Granja variou de forma muito diferenciada ao longo de 2008. Como se verifica no gráfico anterior (Gráfico 1), foi registada uma chuvada de elevada intensidade, fora do normal, no dia 08-04-2008. A média da precipitação diária foi de 3 mm, sendo que o mês mais chuvoso foi Abril e os menos chuvosos Julho e Agosto.

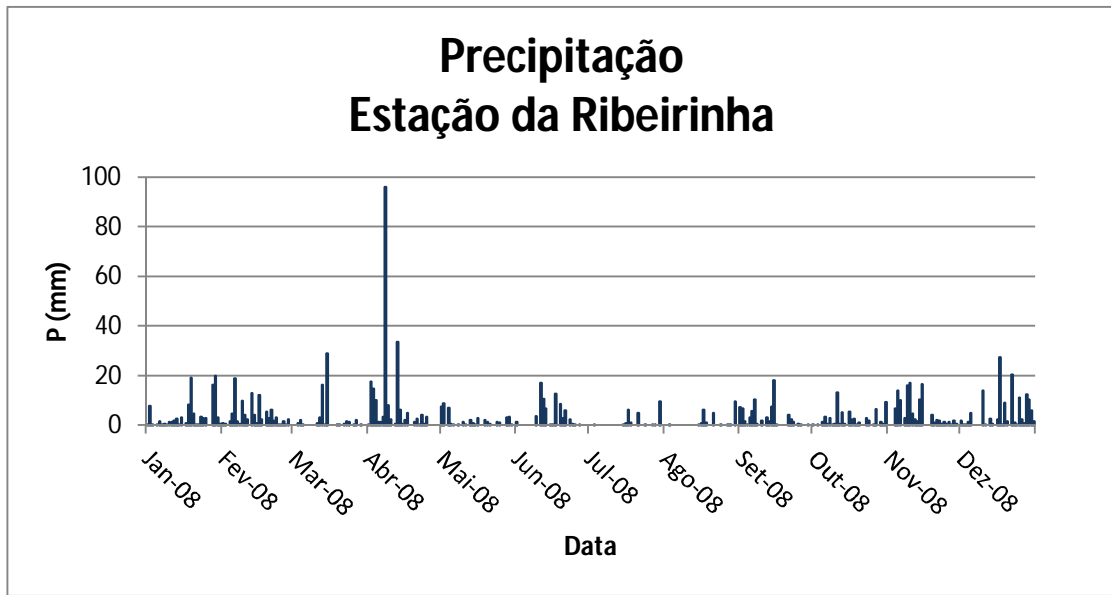


Gráfico 2 Precipitação na Estação da Ribeirinha, em 2008.

A precipitação registada na estação da Ribeirinha variou de forma muito diferenciada ao longo de 2008. Como se verifica no gráfico anterior (Gráfico 2) foi registada uma chuvada de elevada intensidade, fora do normal, no dia 08-04-2008. A média da precipitação diária foi de 4 mm, sendo que o mês mais chuvoso foi Abril e o menos chuvoso Julho.

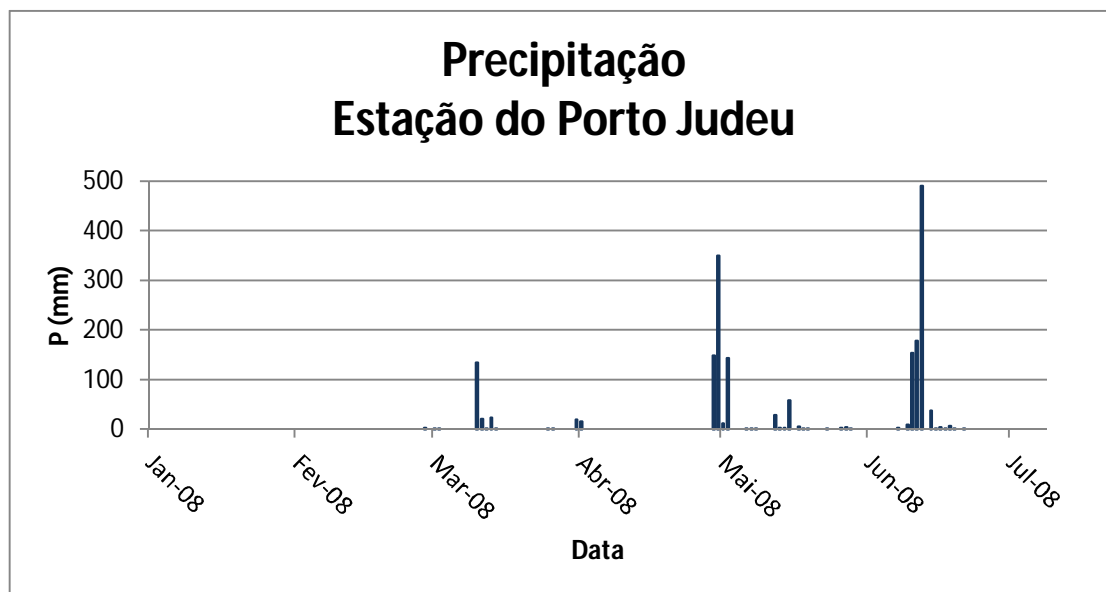


Gráfico 3 Precipitação na Estação do Porto Judeu, em 2008.

Os dados da precipitação da estação do Porto Judeu são incompletos para o ano de 2008 e apenas existem no período entre Janeiro e Julho deste ano.

A precipitação variou de forma muito diferenciada ao longo do período referido, como se vê no gráfico anterior (Gráfico 3). Foi registada uma chuvada de elevada intensidade, fora do normal, no dia 13-06-2008. A média da precipitação diária foi de 15 mm.

O comportamento do precipitação no período referido, não parece adequado ao conhecimento que se tem da realidade do local. Pode traduzir uma ineficiência técnica de registo deste parâmetro neste local, conseqüentemente, os dados deste parâmetro neste local não devem ser considerados neste trabalho.

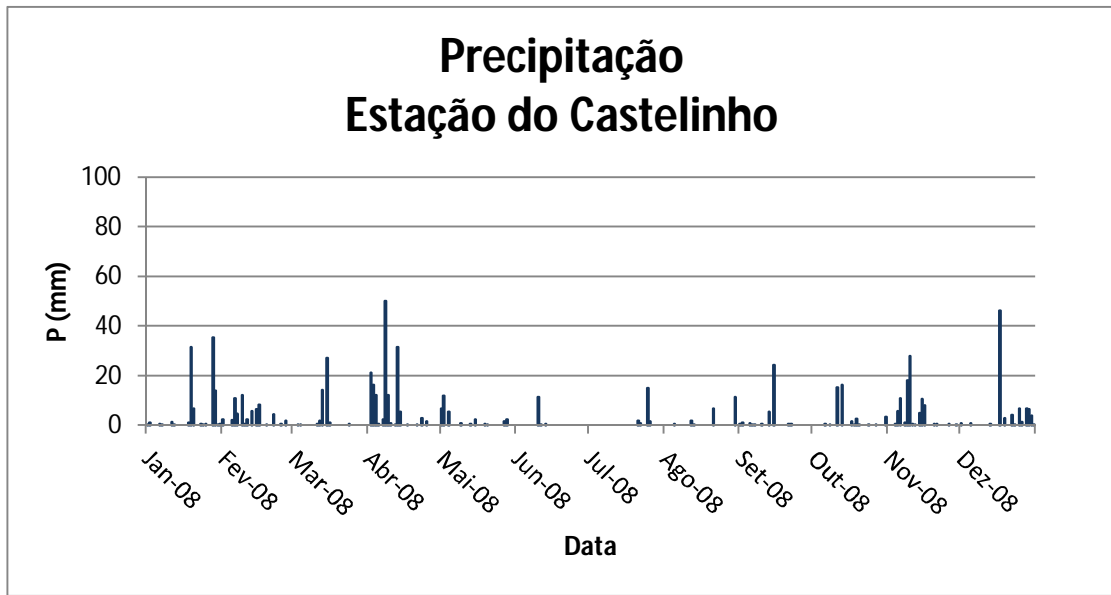


Gráfico 4 Precipitação na Estação do Castelinho, em 2008.

Os dados da precipitação da estação do Castelinho são incompletos para o ano de 2008 e existem entre Janeiro e Dezembro deste ano. A precipitação variou de forma pouco diferenciada ao longo de 2008, como se verifica no gráfico anterior (Gráfico 4). Foi registada uma chuvada de elevada intensidade, fora do normal, no dia 08-04-2008. A média da precipitação diária foi de 2 mm.

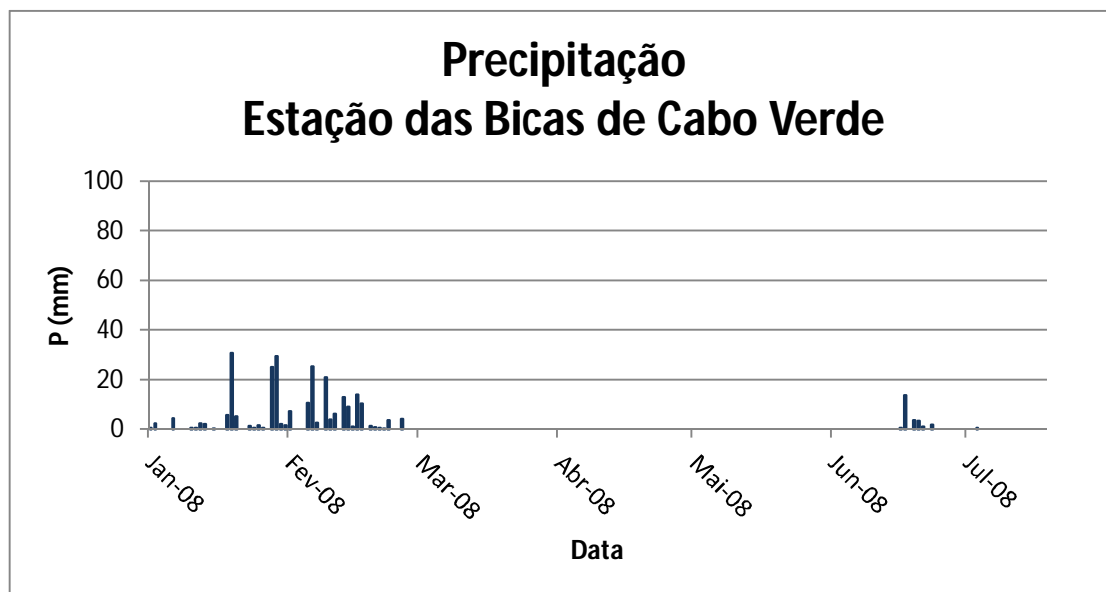


Gráfico 5 Precipitação na Estação das Bicas de Cabo Verde, em 2008.

Os dados da precipitação da estação das Bicas de Cabo Verde são incompletos para o ano de 2008, e apenas existem no período entre Janeiro e Julho deste ano.

A precipitação variou de forma muito diferenciada ao longo do período referido, como se vê no gráfico anterior (Gráfico 5). Foi registada uma chuvada de elevada intensidade, fora do normal, nos dias 19 e 29 de Janeiro de 2008.

A média da precipitação diária foi de 1 mm, a qual não se adequa à realidade do local. Pode traduzir uma ineficiência técnica de registo da precipitação neste local, ou seja, os dados deste parâmetro neste local não devem ser considerados neste trabalho.

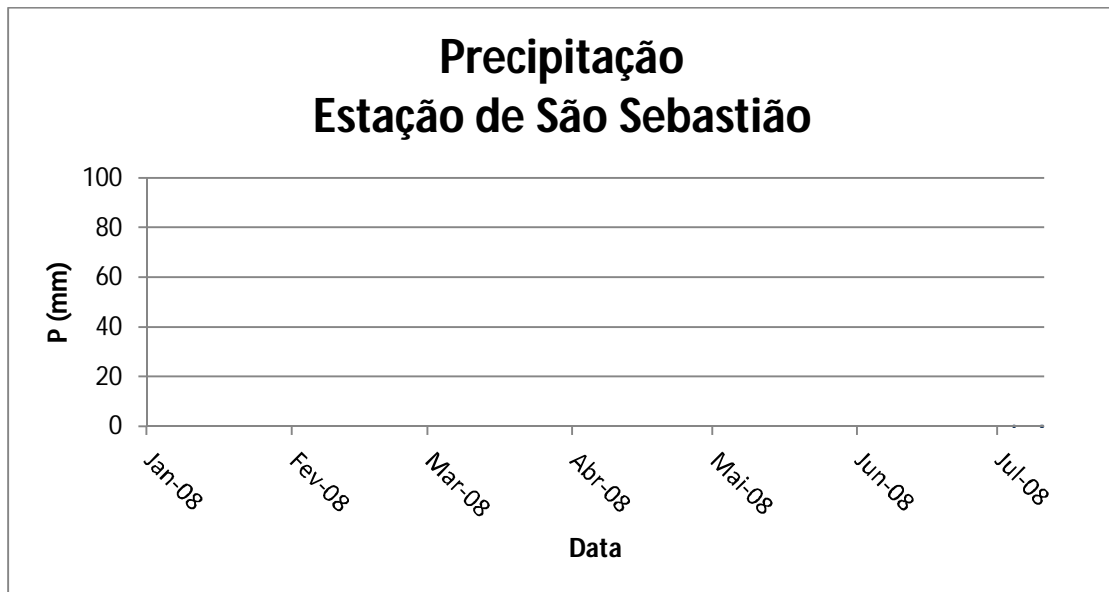


Gráfico 6 Precipitação na Estação de São Sebastião, em 2008.

Os dados da precipitação da estação de São Sebastião são incompletos para o ano de 2008, apesar de existirem no período entre Janeiro e Julho deste ano.

A precipitação variou de forma muito pouco diferenciada ao longo do período referido, como se vê no gráfico anterior (Gráfico 6). A média da precipitação diária foi de 0 mm, a qual não se adequa à realidade do local. Pode traduzir uma ineficiência técnica de registo da precipitação neste local, ou seja, os dados deste parâmetro neste local não deve ser considerados neste trabalho.

#### 5.4.2 TEMPERATURA

Neste subcapítulo são apresentados os gráficos das temperaturas do ar máxima, média e mínima diárias, para as estações acima referidas e para o ano de 2008.

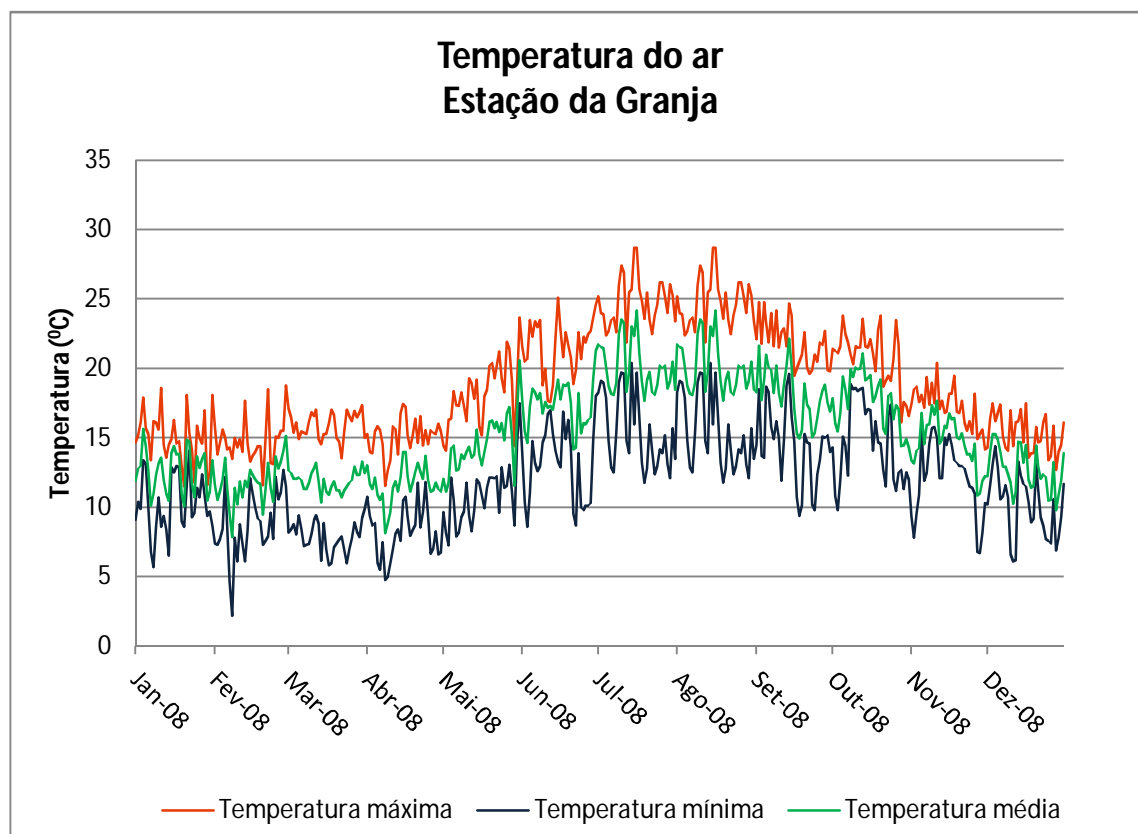


Gráfico 7 Temperaturas máxima, média e mínima registadas na Estação da Granja, em 2008.

A temperatura registada na estação da Granja variou de forma diferenciada ao longo de 2008. Como se vê no gráfico anterior (Gráfico 7), foi registada a temperatura mais elevada no mês de Julho e a mais baixa no mês de Fevereiro. A média da temperatura máxima foi de 18 °C e a média temperatura mínima é de 12 °C.

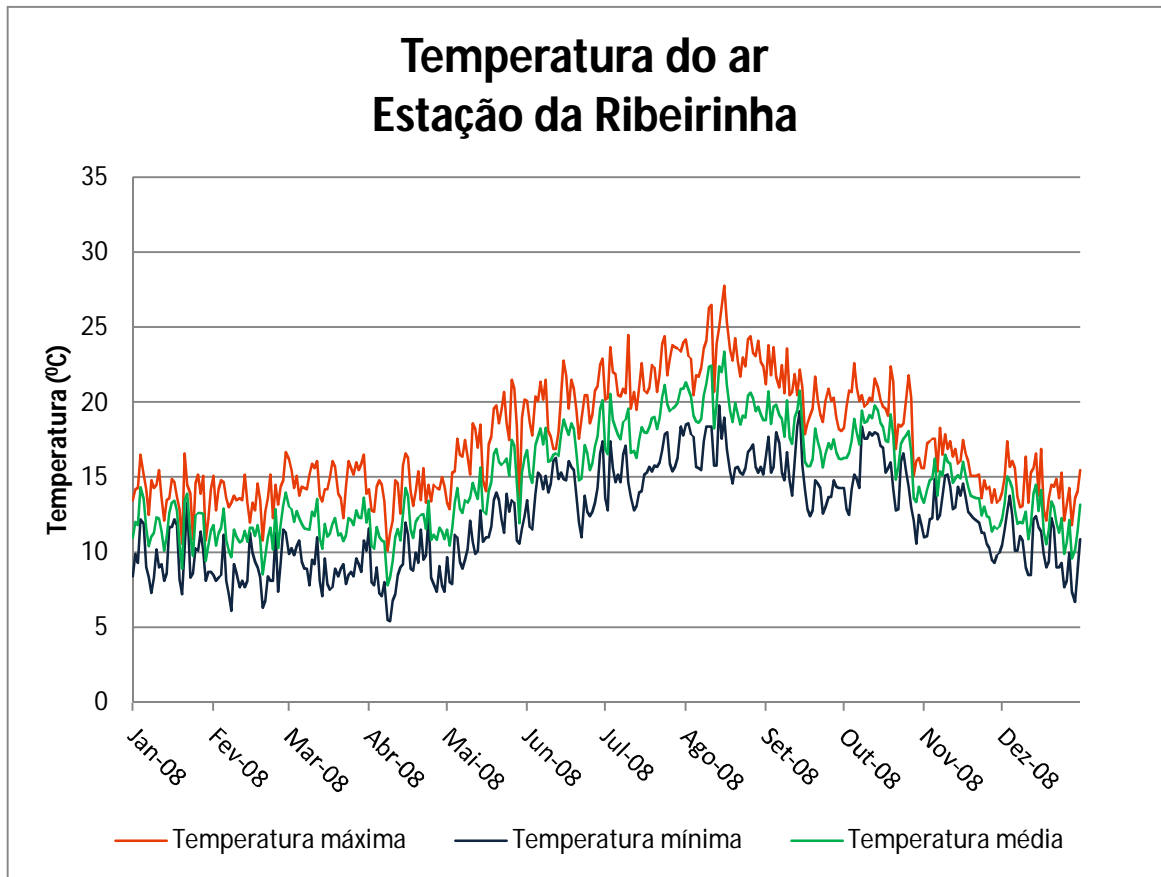


Gráfico 8 Temperaturas máxima, média e mínima registadas na Estação da Ribeirinha, em 2008.

A temperatura registada na estação da Ribeirinha variou de forma diferenciada ao longo de 2008. Como se vê no gráfico anterior (Figura 8), foi registada a temperatura mais elevada no mês de Agosto e a mais baixa no mês de Abril. A média temperatura máxima foi de 18 °C e a média temperatura mínima é de 12 °C.

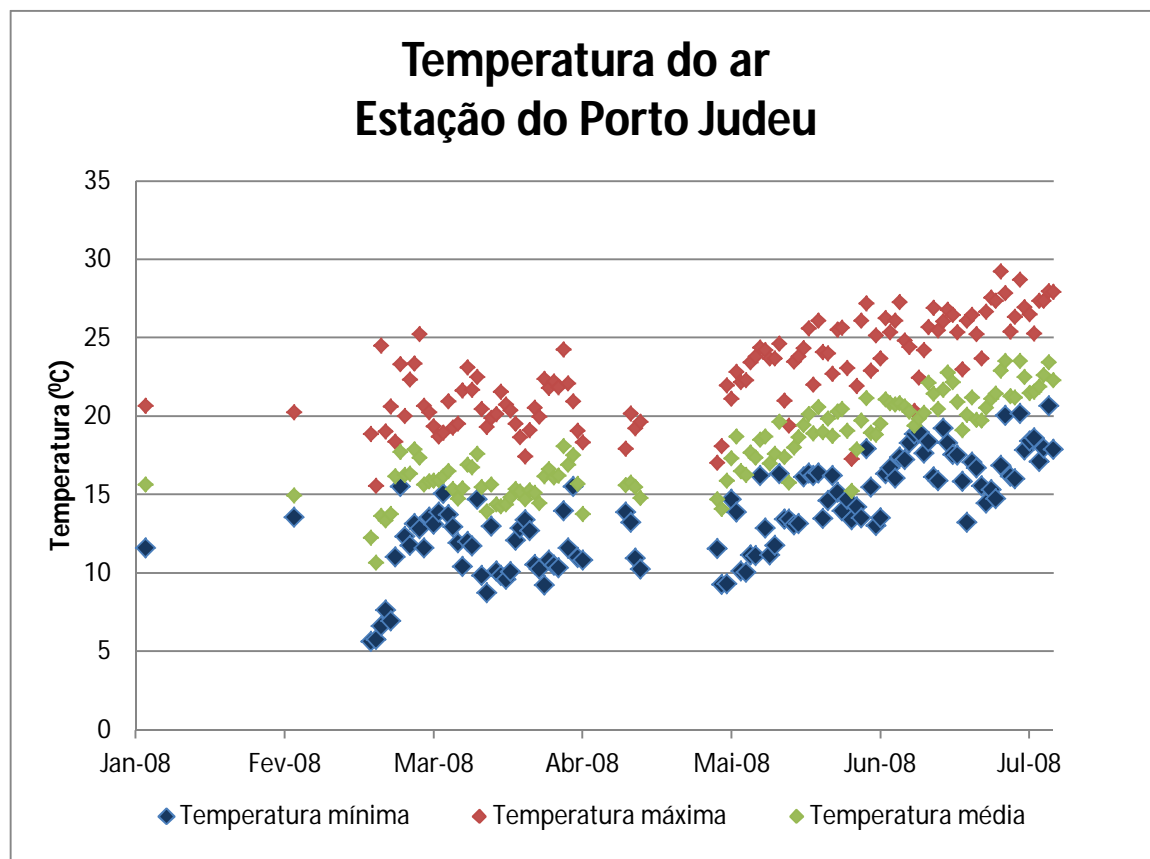


Gráfico 9 Temperaturas máxima, média e mínima registadas na Estação do Porto Judeu, em 2008.

Os dados da temperatura da estação do Porto Judeu são incompletos para o ano de 2008 e apenas existem no período entre Janeiro e Julho deste ano.

Ao longo do período referido, a temperatura nesta estação variou de forma diferenciada, sendo a média temperatura máxima de 23 °C e a média temperatura mínima de 14 °C. Como se vê no gráfico anterior (Gráfico 9), foi registada a temperatura mais elevada no mês de Junho e a mais baixa no mês de Fevereiro.

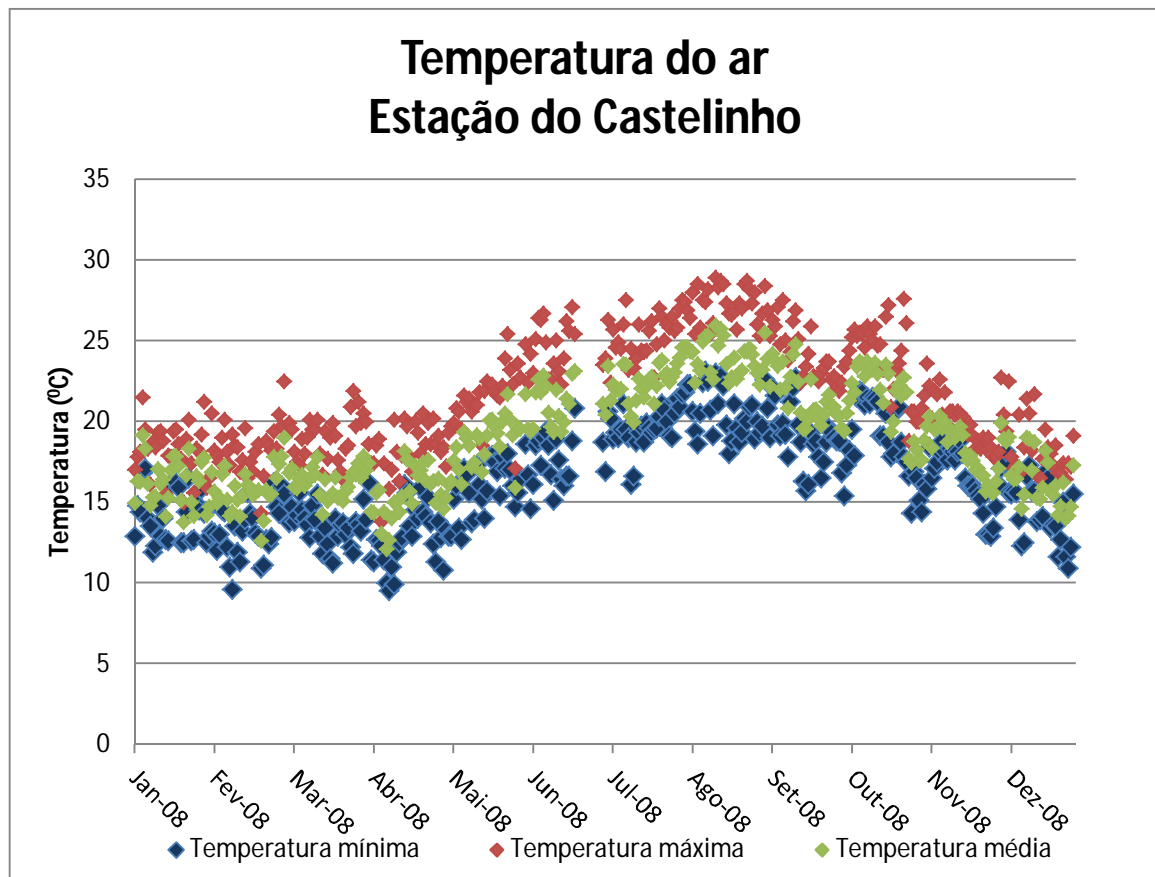


Gráfico 10 Temperaturas máxima, média e mínima registadas na Estação do Castelinho, em 2008.

Os dados da temperatura da estação do Castelinho são incompletos para o ano de 2008 e existem entre Janeiro e Dezembro deste ano.

A temperatura nesta estação variou de forma diferenciada ao longo de 2008. Como se vê no gráfico anterior (Gráfico 10), foi registada a temperatura mais elevada no mês de Agosto e a mais baixa no mês de Abril. A média temperatura máxima foi de 22 °C e a média temperatura mínima é de 16 °C.

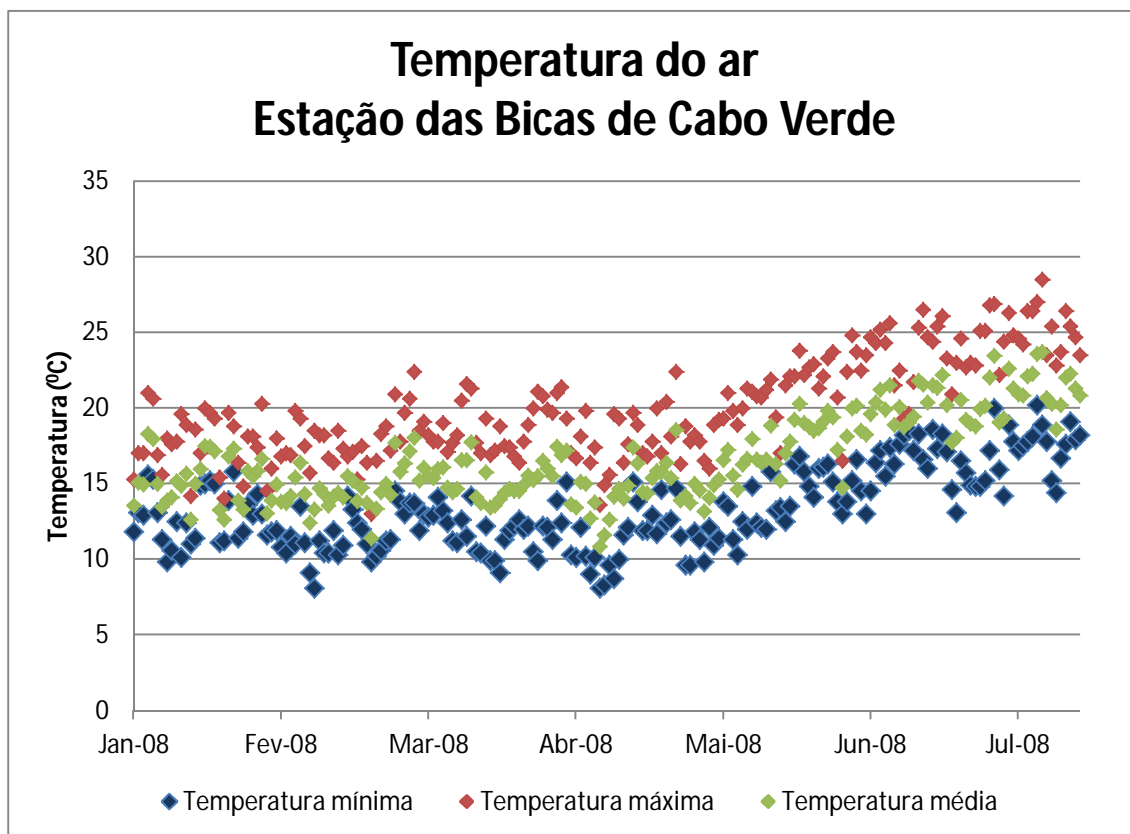


Gráfico 11 Temperaturas máxima, média e mínima registadas na Estação das Bicas de Cabo Verde, em 2008.

Os dados da temperatura da estação das Bicas de Cabo Verde são incompletos para o ano de 2008 e apenas existem no período entre Janeiro e Julho deste ano.

Ao longo do período referido, a temperatura nesta estação variou de forma diferenciada, sendo a média temperatura máxima de 20 °C e a média temperatura mínima de 13 °C. Como se vê no gráfico anterior (Gráfico 11), foi registada a temperatura mais elevada no mês de Julho e a mais baixa no mês de Fevereiro.

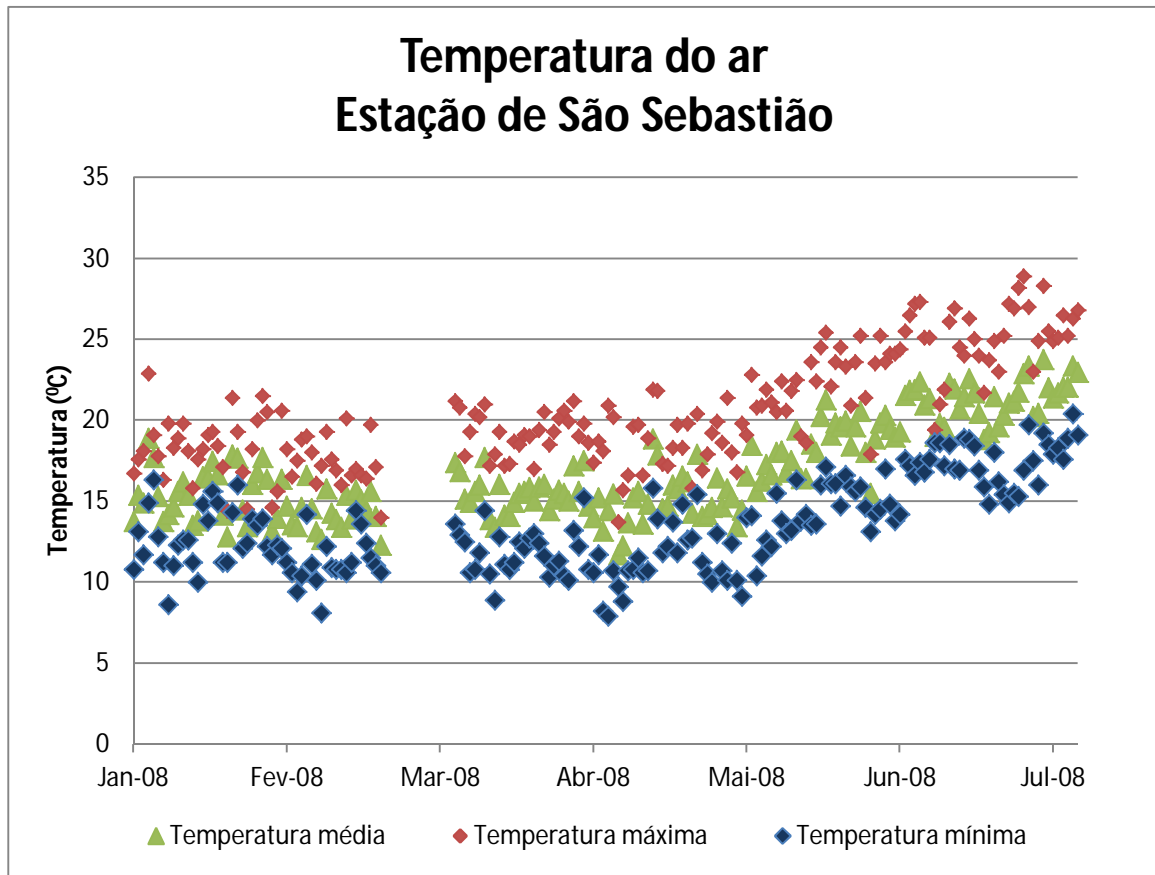


Gráfico 12 Temperaturas máxima, média e mínima registadas na Estação de São Sebastião, em 2008.

Os dados da temperatura da estação de São Sebastião são incompletos para o ano de 2008 e apenas existem no período entre Janeiro e Julho deste ano.

Ao longo do período referido, a temperatura nesta estação variou de forma diferenciada, sendo a média temperatura máxima de 21 °C e a média temperatura mínima de 14 °C. Como se vê no gráfico anterior (Gráfico 12), foi registada a temperatura mais elevada no mês de Junho e a mais baixa no mês de Fevereiro.

### 5.4.3 HUMIDADE RELATIVA

Neste subcapítulo são apresentados os gráficos das humidades relativas máxima e mínima diárias, para as estações acima referidas e para o ano de 2008.

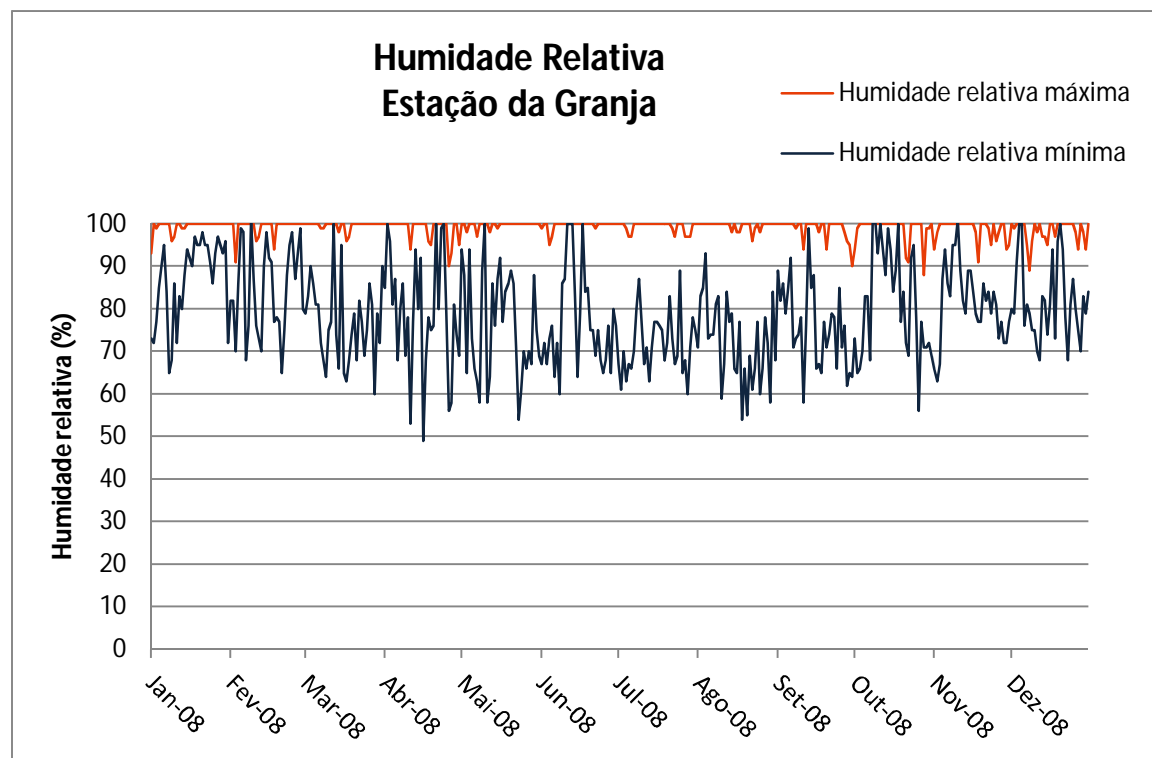


Gráfico 13 Humidades relativas máxima e mínima registadas na Estação da Granja, em 2008.

A humidade relativa registada na estação da Granja variou de forma diferenciada ao longo de 2008. Como se vê no gráfico anterior (Gráfico 13), foram registadas humidades relativas máximas em todos os meses do ano, sendo que a humidade relativa mínima mais baixa foi registada no mês de Abril. A média da humidade relativa máxima foi de 99 % e a média da humidade relativa mínima foi de 79 %.

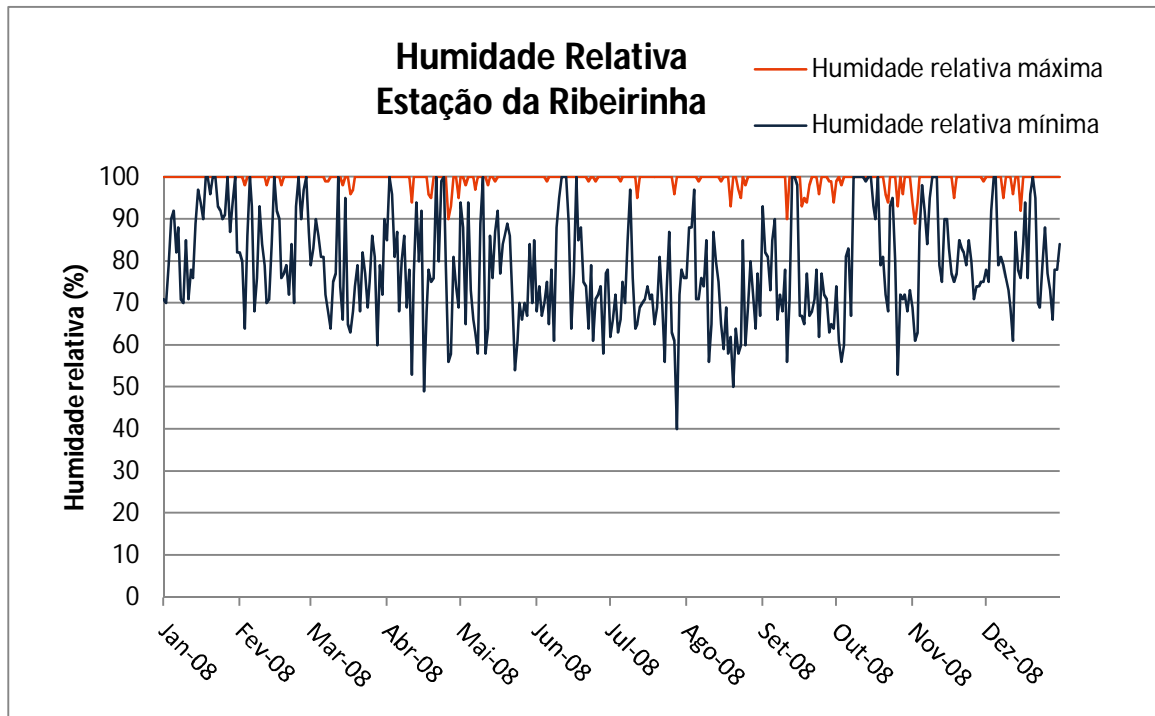


Gráfico 14 Humidades relativas máxima e mínima registadas na Estação da Ribeirinha, em 2008.

A humidade relativa registada na estação da Ribeirinha variou de forma diferenciada ao longo de 2008. Como se vê no gráfico anterior (Gráfico 14), foram registadas humidades relativas máximas em todos os meses do ano, sendo que a humidade relativa mínima mais baixa foi registada no mês de Julho. A média da humidade relativa máxima foi de 99 % e a média da humidade relativa mínima foi de 79 %.

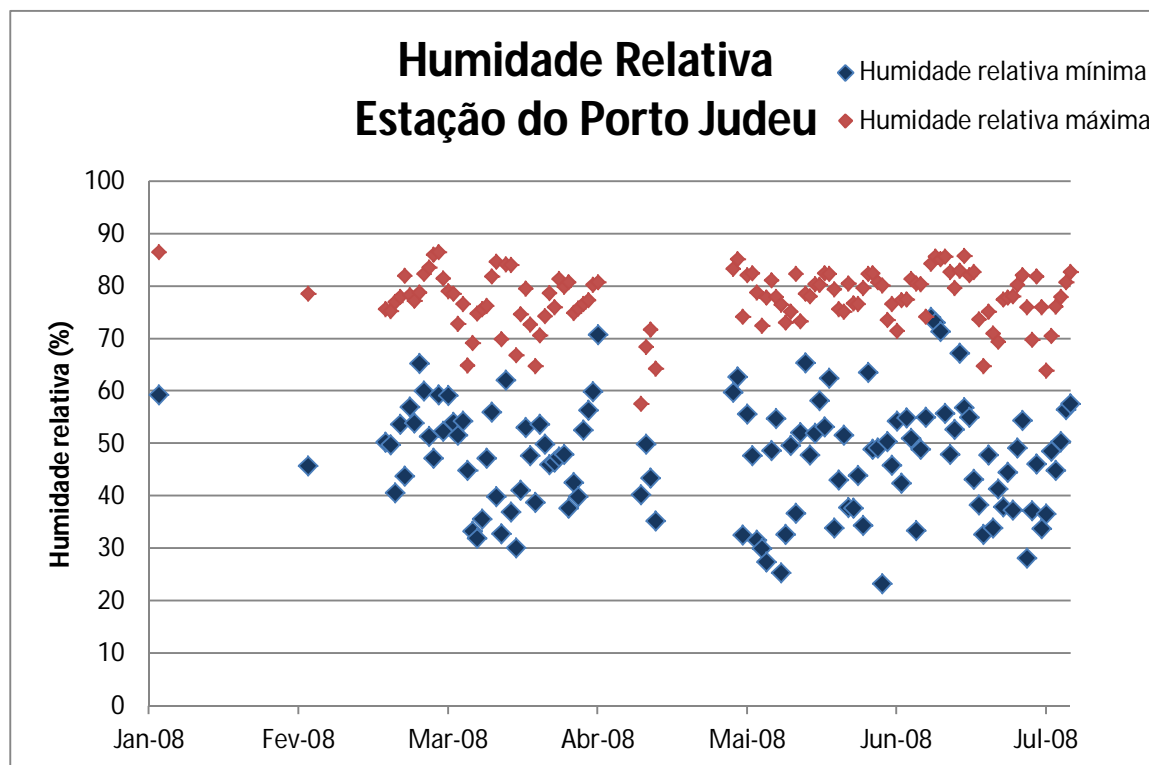


Gráfico 15 Humidades relativas máxima e mínima registadas na Estação do Porto Judeu, em 2008.

Os dados da humidade relativa da estação do Porto Judeu são incompletos para o ano de 2008 e apenas existem no período entre Janeiro e Julho deste ano.

Ao longo do período referido, humidade relativa registada nesta estação variou de forma diferenciada, sendo a média da humidade relativa máxima de 78 % e a média da humidade relativa mínima de 48 %. Como se vê no gráfico anterior (Gráfico 15), foi registada a humidade relativa mais elevada no mês de Janeiro e a mais baixa no mês de Junho.

O comportamento da humidade relativa no período referido, não parece adequado ao conhecimento que se tem da realidade do local. Pode traduzir uma ineficiência técnica de registo deste parâmetro neste local, consequentemente, os dados deste parâmetro neste local não devem ser considerados neste trabalho.

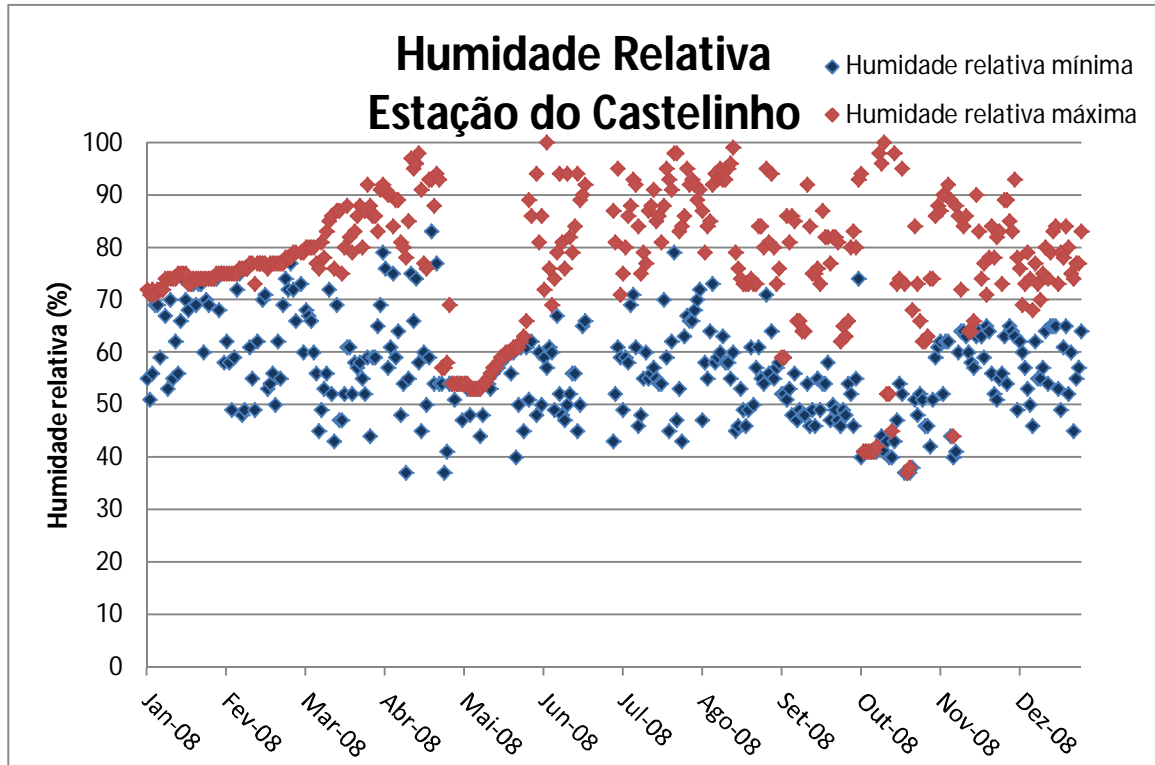


Gráfico 16 Humidades relativas máxima e mínima registadas na Estação do Castelinho, em 2008.

Os dados da humidade relativa da estação do Castelinho são incompletos para o ano de 2008 e existem entre Janeiro e Dezembro deste ano.

Ao longo de 2008, humidade relativa registada nesta estação variou de forma diferenciada, sendo a média da humidade relativa máxima de 77 % e a média da humidade relativa mínima de 57 %. Como se vê no gráfico anterior (Gráfico 16), foi registada a humidade relativa mais elevada nos meses de Junho e Outubro e a mais baixa no mês de Abril.

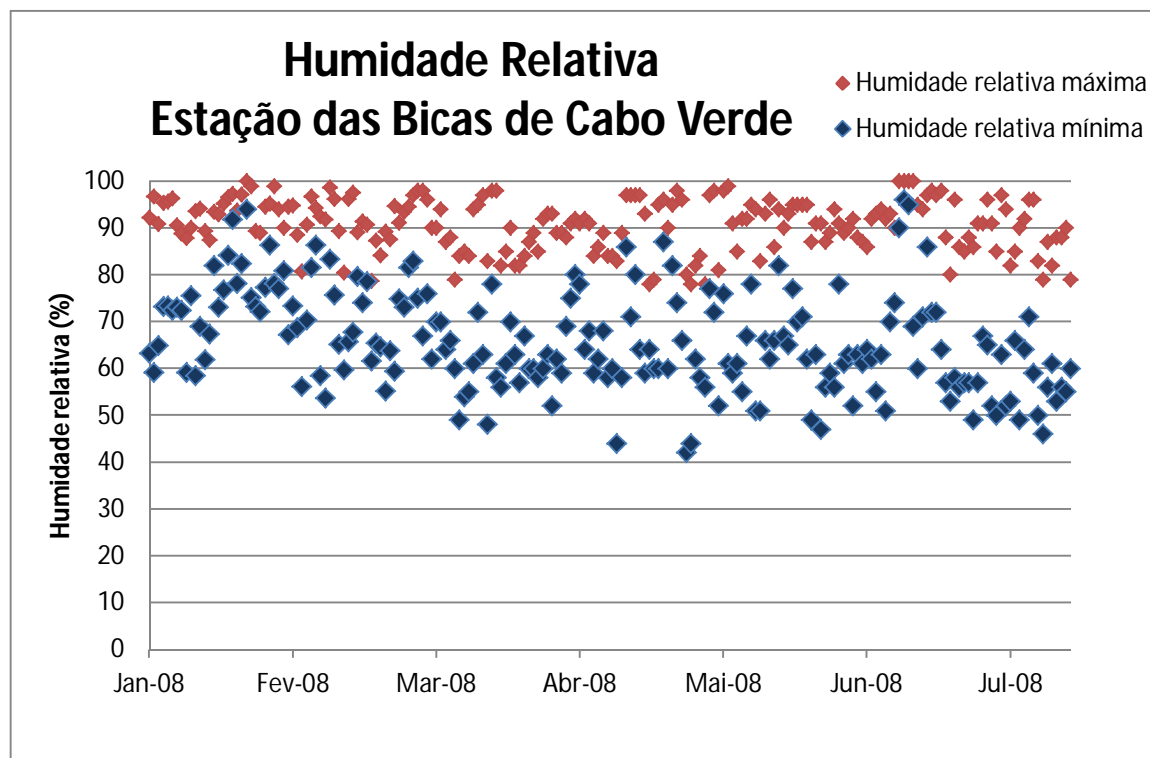


Gráfico 17 Humidades relativas máxima e mínima registadas na Estação das Bicas de Cabo Verde, em 2008.

Os dados da humidade relativa da estação das Bicas de Cabo Verde são incompletos para o ano de 2008 e apenas existem no período entre Janeiro e Julho deste ano.

Ao longo do período referido, humidade relativa registada nesta estação variou de forma diferenciada, sendo a média da humidade relativa máxima de 91 % e a média da humidade relativa mínima de 66 %. Como se vê no gráfico anterior (Gráfico 17), foi registada a humidade relativa mais elevada no meses de Janeiro e Junho e a mais baixa no mês de Abril.

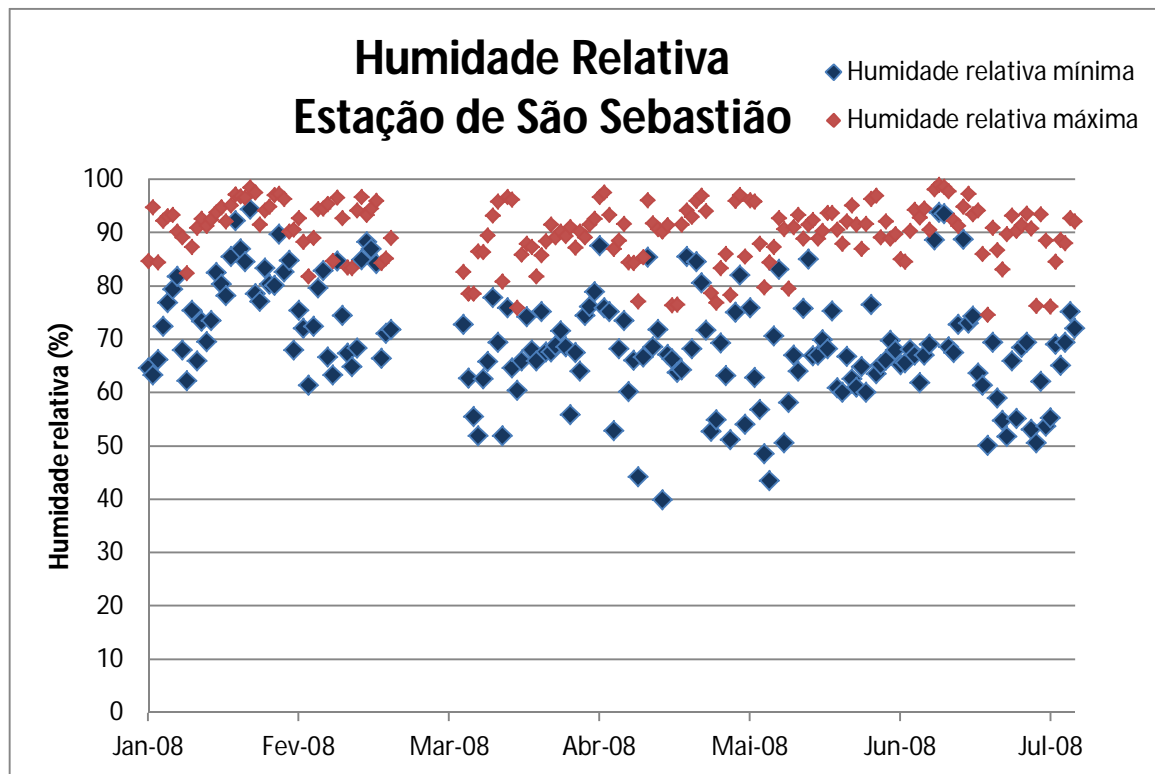


Gráfico 18 Humidades relativas máxima e mínima registadas na Estação de São Sebastião, em 2008.

Os dados da humidade relativa da estação de São Sebastião são incompletos para o ano de 2008 e apenas existem no período entre Janeiro e Julho deste ano.

Ao longo do período referido, humidade relativa registada nesta estação variou de forma muito diferenciada, sendo a média da humidade relativa máxima de 90 % e a média da humidade relativa mínima de 70 %. Como se vê no gráfico anterior (Gráfico 18), foi registada a humidade relativa mais elevada no mês de Junho e a mais baixa no mês de Abril.

### 5.4.4 RADIAÇÃO LÍQUIDA

A radiação global ( $R_s$ ) que pode ser estimada a partir da insolação diária real (número de horas de sol) medidas nas estações.

Nos casos em não existiam medições de insolação diária real ou não eram fiáveis, caso das estações do Porto Judeu, Castelinho, Bicas de Cabo Verde e São Sebastião, adotou-se a fórmula de radiação global recomendada em FAO-56 (Allen *et al.*, 1998), baseada no intervalo de temperatura do ar:

$$R_s = K_s \times \sqrt{(T_{m\acute{a}x} - T_{m\acute{i}n})} \times R_a$$

Equação 1 Radiação global.

Em que:

$R_s$  é a radiação global [ $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ]

$T_{m\acute{a}x}$  é a temperatura máxima do ar [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$T_{m\acute{i}n}$  é a temperatura mínima do ar [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$R_a$  é a radiação extraterrestre [ $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ]

$K_s$  é um coeficiente de ajuste empírico que varia entre 0,16 para localização interiores e 0,19 para regiões costeiras, tendo-se adotado este último valor para efeitos de cálculo.

A radiação líquida foi calculada através das medições de insolação diária real ou número real de horas de sol por dia nas estações. É calculada como a soma algébrica da radiação líquida de curto comprimento de onda ( $R_{ns}$ ) e a radiação líquida de longo comprimento de onda ( $R_{nl}$ ) (Allen *et al.*, 1998).

A radiação líquida de curto comprimento de onda ( $R_{ns}$ ) resulta do balanço entre a radiação solar recebida e refletida, sendo função da radiação global ( $R_s$ ) (Allen *et al.*, 1998).

A radiação líquida de longo comprimento de onda ( $R_{nl}$ ) resulta do balanço entre a radiação de longo comprimento de onda emitida pela cultura e pelo solo e a radiação de longo comprimento de onda proveniente da atmosfera (Allen *et al.*, 1998).

## 5 MODELAÇÃO HIDROLÓGICA DISTRIBUÍDA

Assim, neste subcapítulo são apresentados os gráficos de radiação líquida diária, para todas estações e para o ano de 2008.

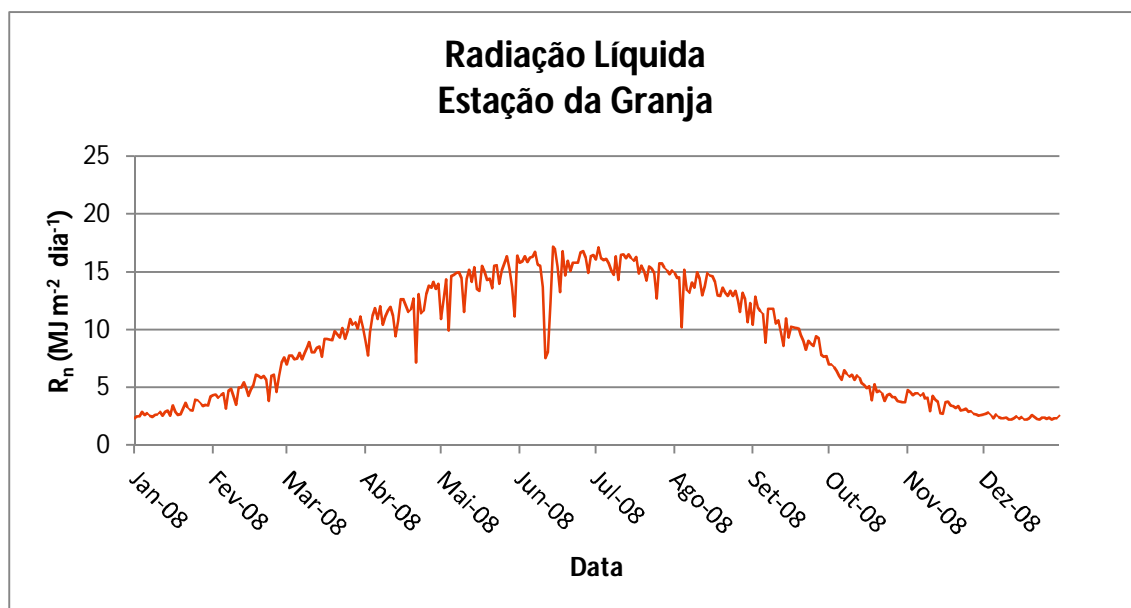


Gráfico 19 Radiação líquida na Estação da Granja, em 2008.

O gráfico da radiação líquida na estação da Granja (Gráfico 19), tem uma forma parábólica ao longo de 2008. Como se pode verificar neste gráfico, os meses com valores mais elevados de radiação líquida são Junho e Julho e, com valores mais baixos, Janeiro e Dezembro.

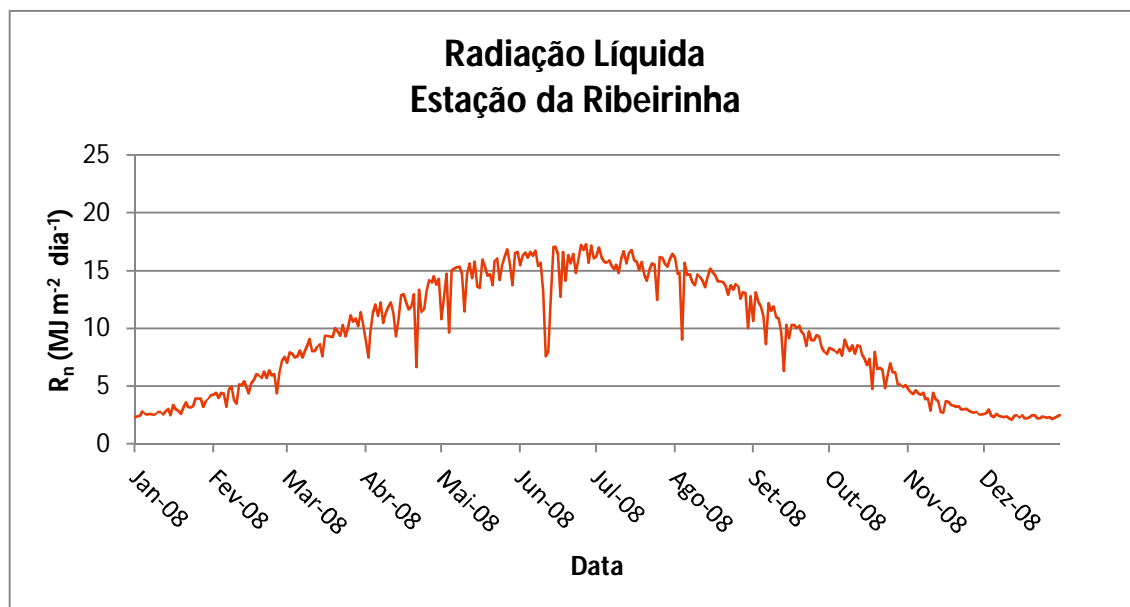


Gráfico 20 Radiação líquida na Estação da Ribeirinha, em 2008.

O gráfico da radiação líquida na estação da Ribeirinha (Gráfico 20), tem uma forma parabólica ao longo de 2008. Como se pode verificar neste gráfico, os meses com valores mais elevados de radiação líquida são Junho e Julho e, com valores mais baixos, Janeiro e Dezembro.

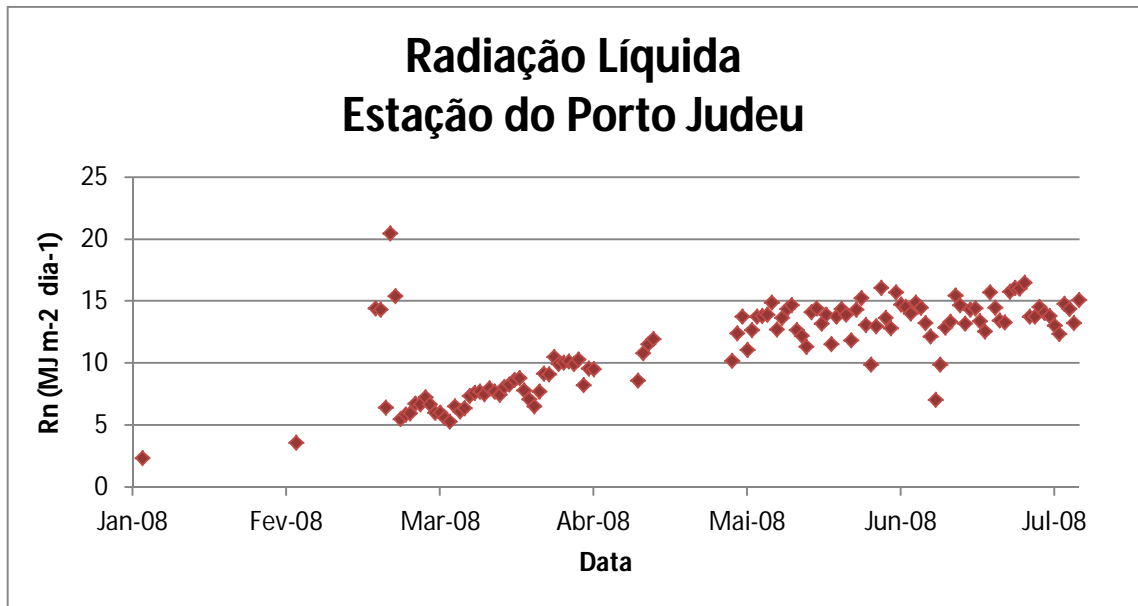


Gráfico 21 Radiação líquida na Estação do Porto Judeu, em 2008.

Os valores da radiação líquida da estação do Porto Judeu são incompletos para o ano de 2008, pois são calculados, como já referido, através dos dados de temperaturas máxima e mínima, os quais não são contínuos e apenas existem no período entre Janeiro e Julho deste ano.

O gráfico da radiação líquida na estação do Porto Judeu (Gráfico 21), tem uma forma que se assemelha à primeira metade de uma parábola, ao longo de 2008. Como se verificar neste gráfico, no período referido, os meses com valores mais elevados de radiação líquida são Junho e Julho e, com valores mais baixos, Janeiro e Fevereiro.

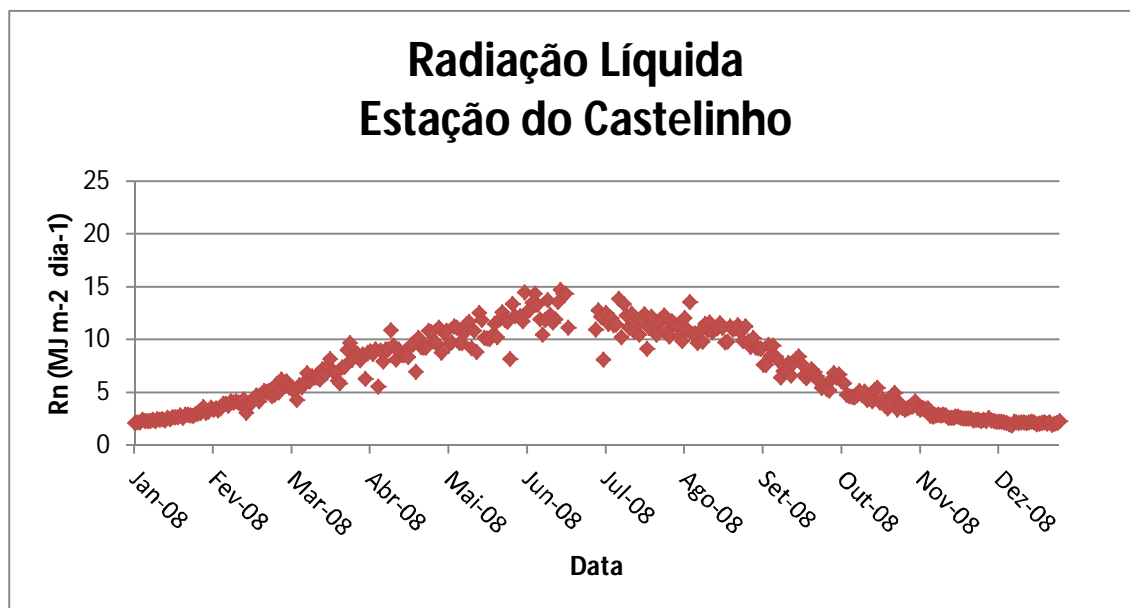


Gráfico 22 Radiação líquida na Estação do Castelinho, em 2008.

Os valores da radiação líquida da estação do Castelinho são incompletos para o ano de 2008, pois são calculados, como já referido, através dos dados de temperaturas máxima e mínima, os quais não são contínuos, e existem entre Janeiro e Dezembro deste ano.

O gráfico da radiação líquida desta estação (Gráfico 22), tem uma forma parabólica ao longo de 2008. Como se pode verificar neste gráfico, os meses com valores mais elevados de radiação líquida são Junho e Julho e, com valores mais baixos, Janeiro e Dezembro.

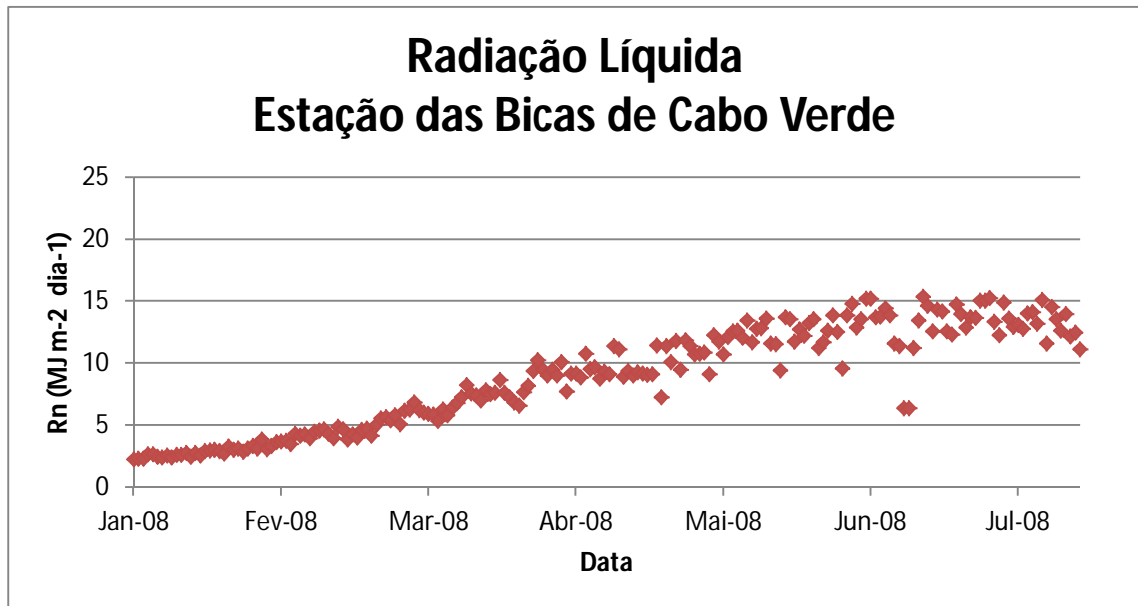


Gráfico 23 Radiação Líquida na Estação das Bicas de Cabo Verde, em 2008.

Os valores da radiação líquida da estação das Bicas de Cabo Verde são incompletos para o ano de 2008, pois são calculados, como já referido, através dos dados de temperaturas máxima e mínima, os quais não são contínuos e apenas existem no período entre Janeiro e Julho deste ano.

O gráfico da radiação líquida na estação do Porto Judeu (Gráfico 23), tem uma forma que se assemelha à primeira metade de uma parábola, ao longo de 2008. Como se verificar neste gráfico, no período referido, os meses com valores mais elevados de radiação líquida são Junho e Julho e, com valores mais baixos, Janeiro e Fevereiro.

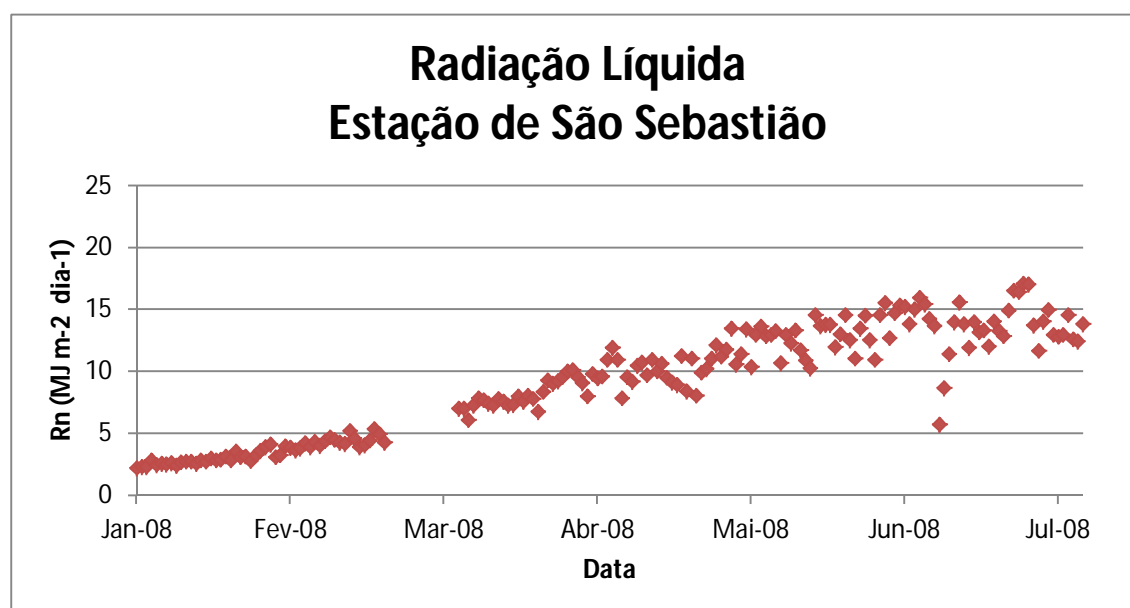


Gráfico 24 Radiação líquida na Estação de São Sebastião, em 2008.

Os valores da radiação líquida da estação de São Sebastião são incompletos para o ano de 2008, pois são calculados, como já referido, através dos dados de temperaturas máxima e mínima, os quais não são contínuos e apenas existem no período entre Janeiro e Julho deste ano.

O gráfico da radiação líquida na estação de São Sebastião (Gráfico 24), tem uma forma que se assemelha à primeira metade de uma parábola, ao longo de 2008. Como se verificar neste gráfico, no período referido, os meses com valores mais elevados de radiação líquida são Junho e Julho e, com valores mais baixos, Janeiro e Fevereiro.

#### 5.4.5 VENTO

Neste subcapítulo são apresentados os gráficos de velocidade do vento diárias para uma altura de medição de 2 m, a partir do solo, para todas as estações e para o ano de 2008.

A altura de medição, a partir do solo, da velocidade do vento, nas estações da Granja e Ribeirinha, é de 2 m, no entanto, nas estações de Bicas de Cabo Verde, S. Sebastião e Porto Judeu é de 2,5 m e na estação do Castelinho é de 15 m.

Assim, foram efetuadas correções para os dados de velocidade do vento nas estações onde este parâmetro não é medido a 2 m de altura do solo, através da fórmula recomendada em FAO56 (Allen *et al.*, 1998):

$$U_2 = U_z 4.87 / \ln (67,8 z - 5,42)$$

Equação 2 Velocidade do vento a 2 m de altura.

Em que:

$U_2$  é a velocidade do vento a 2 m de altura [ $m s^{-1}$ ]

$U_z$  é a velocidade do vento medida à cota  $z$  [ $m s^{-1}$ ]

$z$  é a cota [m].

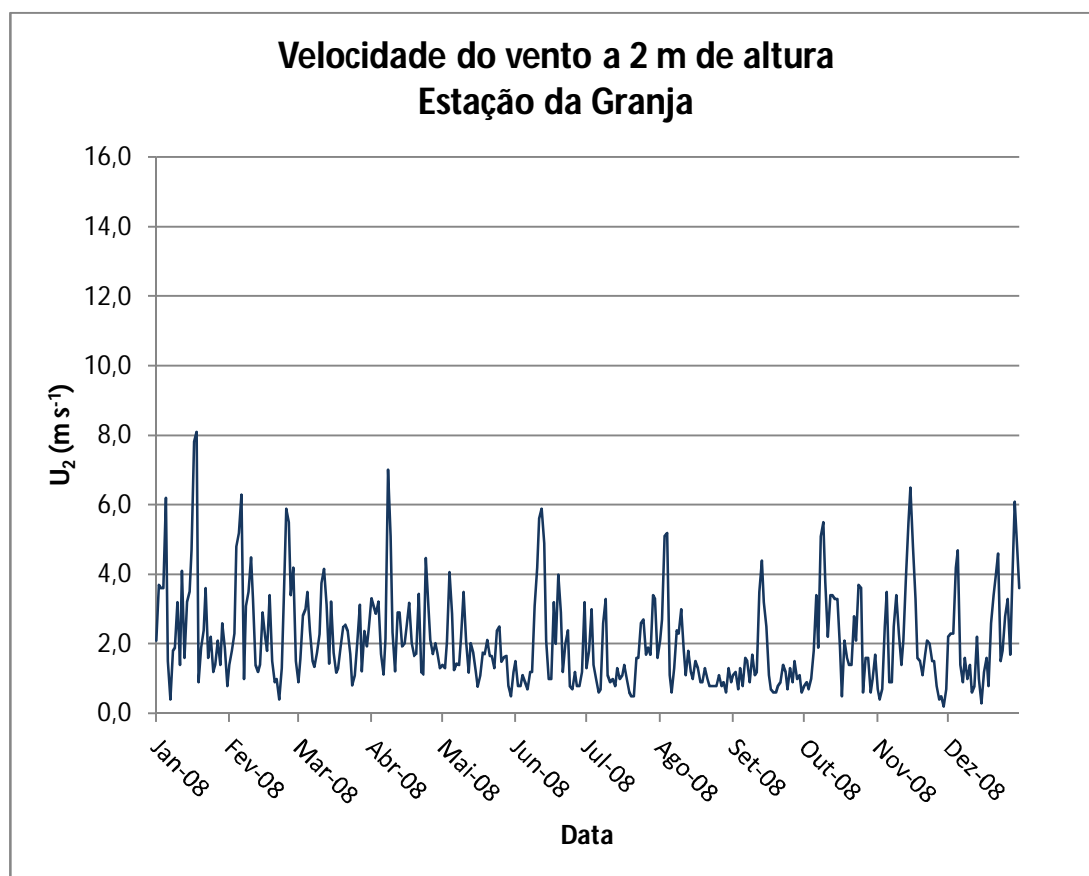


Gráfico 25 Velocidade do vento, a 2 m de altura do solo, na Estação da Granja, em 2008.

A velocidade do vento, a 2 m de altura do solo, na estação da Granja (Gráfico 25), variou de forma muito diferenciada ao longo de 2008. A média deste parâmetro nesta estação é de 2,1 ms<sup>-1</sup>.

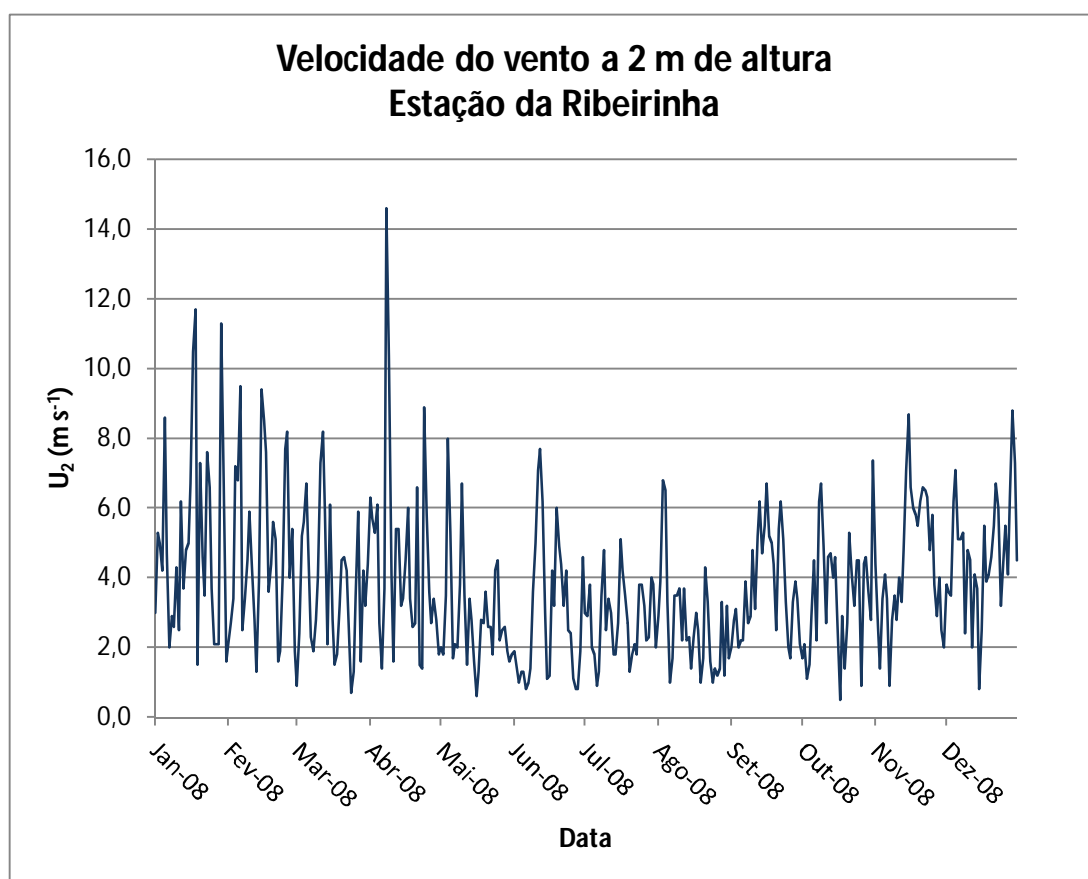


Gráfico 26 Velocidade do vento, a 2 m de altura do solo, na Estação da Ribeirinha, em 2008.

A velocidade do vento, a 2 m de altura do solo, na estação da Ribeirinha (Gráfico 26), variou de forma muito diferenciada ao longo de 2008. A média deste parâmetro nesta estação é de  $3,8 \text{ ms}^{-1}$ .

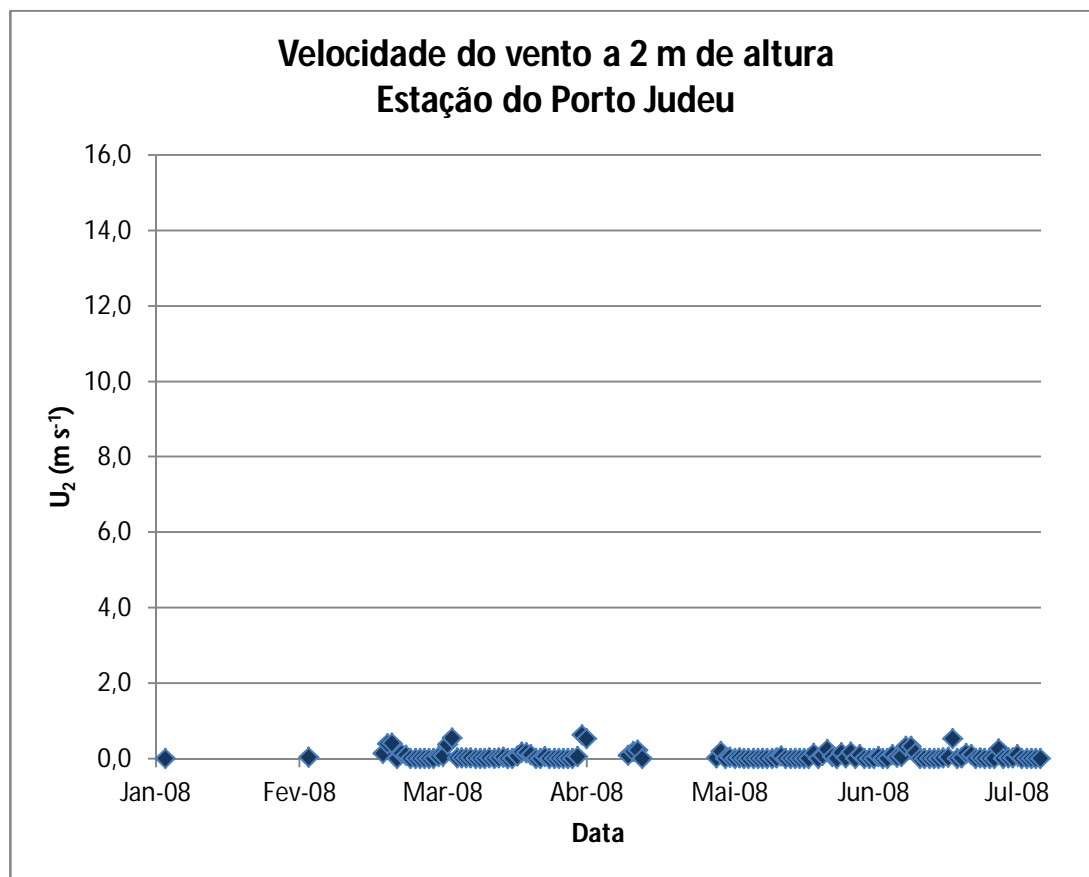


Gráfico 27 Velocidade do vento, a 2 m de altura do solo, na Estação do Porto Judeu, em 2008.

Os valores da velocidade do vento da estação do Porto Judeu são incompletos para o ano de 2008 e apenas existem no período entre Janeiro e Julho deste ano.

Os valores corrigidos pela fórmula recomendada em FAO-56 (Allen *et al.*, 1998) da velocidade do vento, a 2 m de altura do solo (Equação 2), nesta estação variaram de forma diferenciada ao longo de 2008 (Gráfico 27). A média deste parâmetro nesta estação é de  $0,1 \text{ ms}^{-1}$ .

O comportamento do vento no período referido, não parece adequado ao conhecimento que se tem da realidade do local. Pode traduzir uma ineficiência técnica de registo deste parâmetro neste local, consequentemente, os dados deste parâmetro neste local não devem ser considerados neste trabalho.

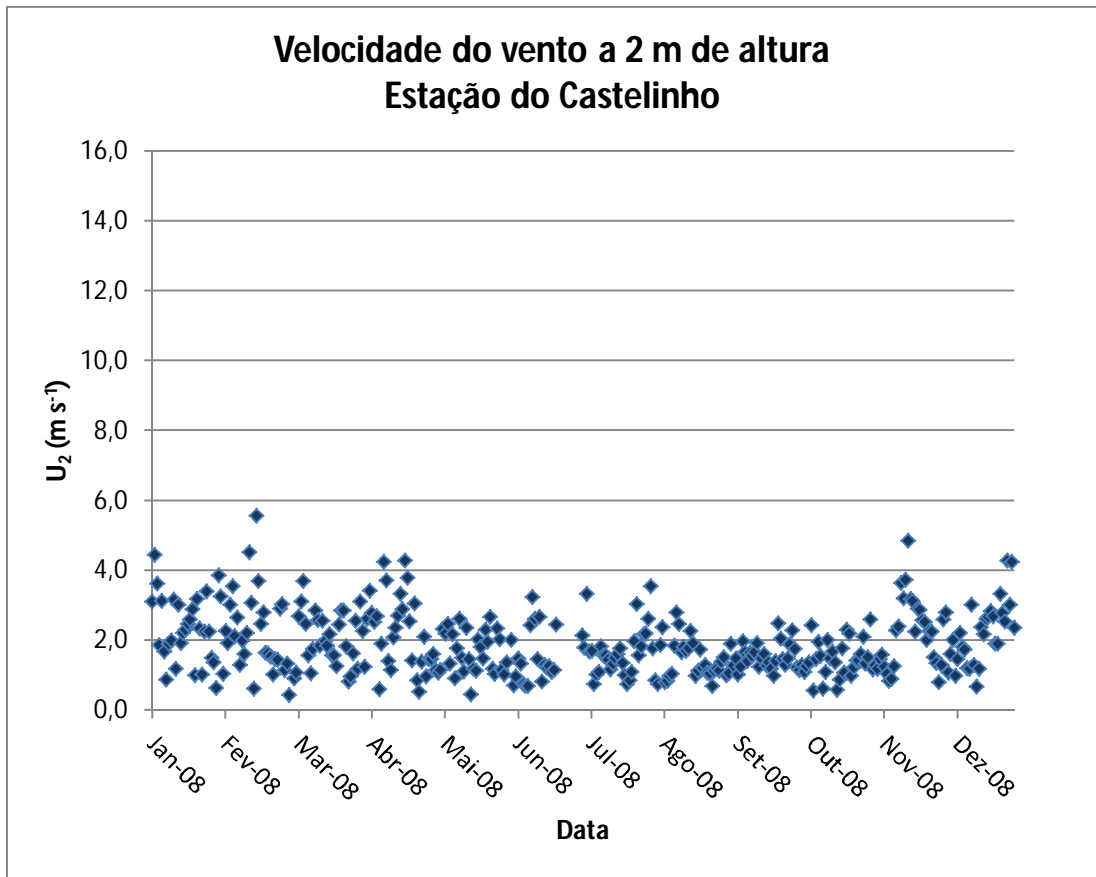


Gráfico 28 Velocidade do vento, a 2 m de altura do solo, na Estação do Castelinho, em 2008.

Os valores da velocidade do vento da estação do Castelinho são incompletos para o ano de 2008 e existem entre Janeiro e Dezembro deste ano.

Os valores corrigidos pela fórmula recomendada em FAO-56 (Allen *et al.*, 1998) da velocidade do vento, a 2 m de altura do solo (Equação 2), nesta estação, variaram de forma muito diferenciada ao longo de 2008 (Gráfico 28). A média deste parâmetro nesta estação é de  $1,9 ms^{-1}$ .

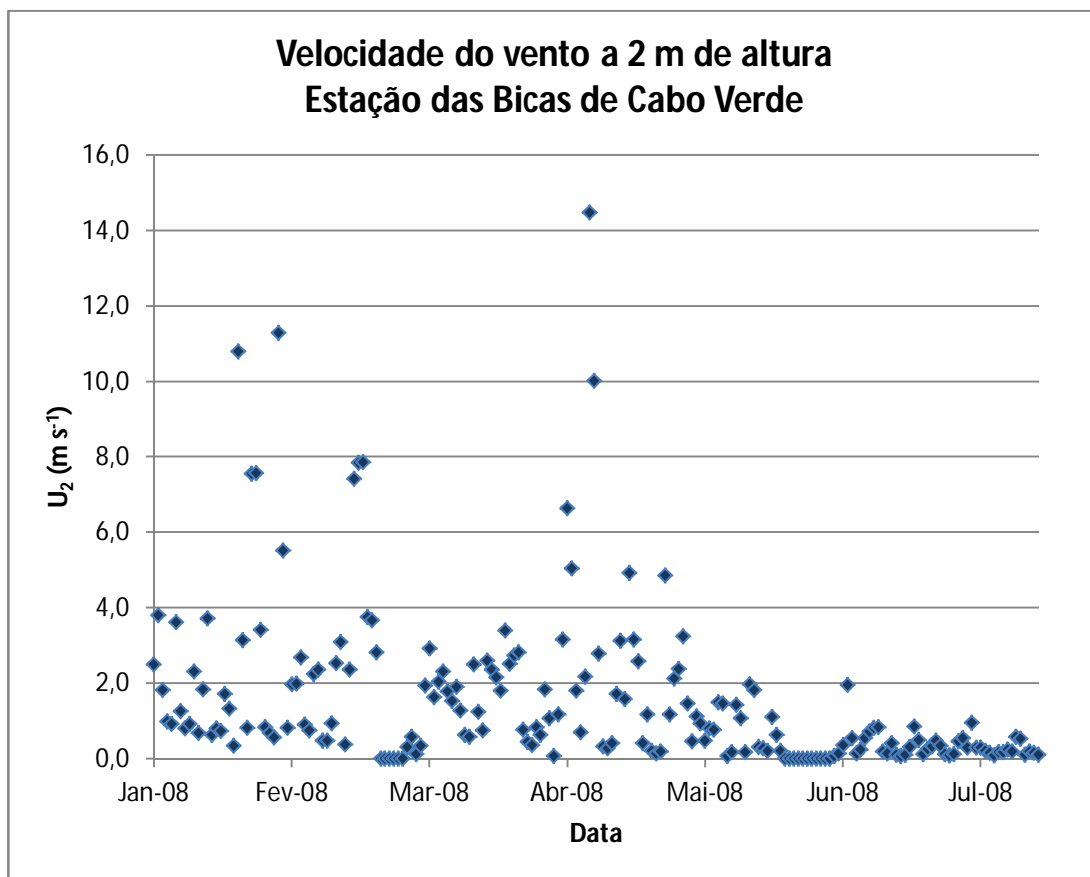


Gráfico 29 Velocidade do vento, a 2 m de altura do solo, na Estação das Bicas de Cabo Verde, em 2008.

Os valores da velocidade do vento da estação das Bicas de Cabo Verde são incompletos para o ano de 2008 e apenas existem no período entre Janeiro e Julho deste ano.

Os valores corrigidos pela fórmula recomendada em FAO-56 (Allen *et al.*, 1998) da velocidade do vento, a 2 m de altura do solo (Equação 2), nesta estação, variaram de forma muito diferenciada ao longo de 2008 (Gráfico 29). A média deste parâmetro nesta estação é de  $1,5 \text{ ms}^{-1}$ .

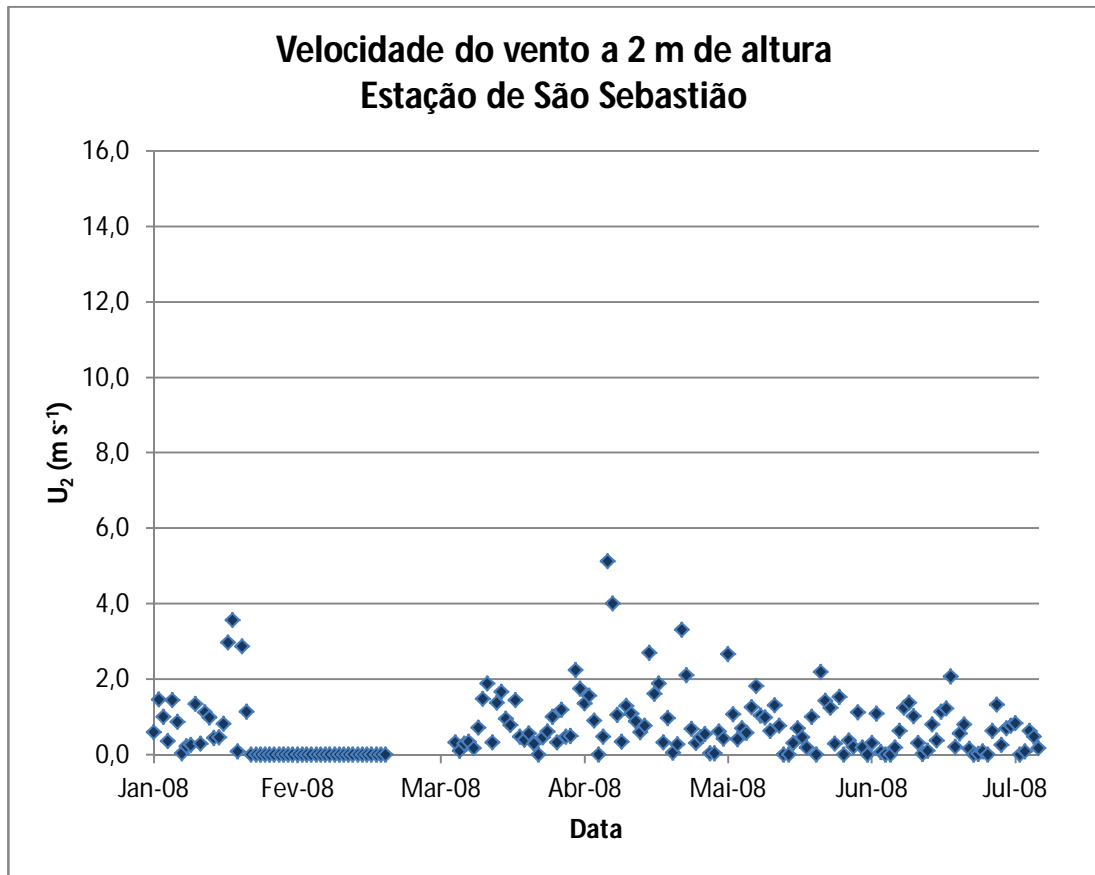


Gráfico 30 Velocidade do vento, a 2 m de altura do solo, na Estação de São Sebastião, em 2008.

Os valores da velocidade do vento da estação de São Sebastião são incompletos para o ano de 2008 e apenas existem no período entre Janeiro e Julho deste ano.

Os valores corrigidos pela fórmula recomendada em FAO-56 (Allen *et al.*, 1998) da velocidade do vento, a 2 m de altura do solo (Equação 2), nesta estação, variaram de forma muito diferenciada ao longo de 2008 (Gráfico 30). A média deste parâmetro nesta estação é de  $0,7 ms^{-1}$ .

O comportamento do vento em Fevereiro, não parece adequado ao conhecimento que se tem da realidade do local. Pode traduzir uma ineficiência técnica de registo deste parâmetro neste local, consequentemente, os dados deste parâmetro neste local não devem ser considerados neste trabalho.

## 5.5 EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA

### 5.5.1 EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA DIÁRIA SIMULADA

A evapotranspiração de referência é a taxa de evapotranspiração de uma cultura fictícia com uma altura uniforme de 12 cm, uma resistência do coberto de 70 s/m e um albedo de 0,3, para a qual a evapotranspiração está fortemente relacionada com uma cultura de relva verde, com uma altura de 8 a 15 cm, crescendo ativamente, cobrindo completamente o solo, sem restrições em água e fertilizantes e sem doenças (Allen *et al.*, 1998).

A equação de Penman-Monteith-FAO (Equação 3) é uma variante da de Penman, que pretende integrar os factores meteorológicos com os aspectos fisiológicos da cultura através da resistência do coberto, introduzindo também a resistência aerodinâmica (Allen *et al.*, 1998):

$$ET_0 = [0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma [900 / (T + 273)] U_2 (e_a - e_d)] / [\Delta + \gamma (1 + 0,34 U_2)]$$

Equação 3 Evapotranspiração de referência.

Em que:

$ET_0$  é a evapotranspiração de referência [ $\text{mm d}^{-1}$ ]

$R_n$  é a radiação líquida à superfície da cultura [ $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ]

$G$  é a densidade do fluxo de calor do solo [ $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ]

$T$  é a média da temperatura do ar [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$U_2$  é a velocidade do vento a 2 m de altura [ $\text{m s}^{-1}$ ]

$e_a$  é a tensão de vapor saturante [kPa]

$e_d$  é a tensão de vapor real [kPa]

$(e_a - e_d)$  é o défice da pressão de vapor medido a 2 m de altura [kPa]

$\Delta$  é o declive da curva de pressão de vapor [ $\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ ]

$\gamma$  é a constante psicrométrica [ $\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ ]

900 é o coeficiente para a cultura de referência [ $\text{kJ}^{-1} \text{kg K}$ ]

## 5 MODELAÇÃO HIDROLÓGICA DISTRIBUÍDA

0,34 é o coeficiente do vento para a cultura de referência [ $\text{kJ}^{-1} \text{kg K}$ ]

$\lambda$  é o calor latente de vaporização [ $\text{MJ kg}^{-1}$ ]

0,408 é o valor para  $1/\lambda$  com  $\lambda = 2,45$  [ $\text{MJ kg}^{-1}$ ].

A evapotranspiração de referência diária foi simulada para cada estação através da equação de Penman-Monteith - FAO (Allen *et al.*, 1998) (Equação 3).

Neste subcapítulo são apresentados os gráficos da evapotranspiração referência diária para as estações agrometeorológicas da Granja, da Ribeirinha, das Bicas de Cabo Verde, do Castelinho, de São Sebastião e do Porto Judeu, para o ano de 2008.

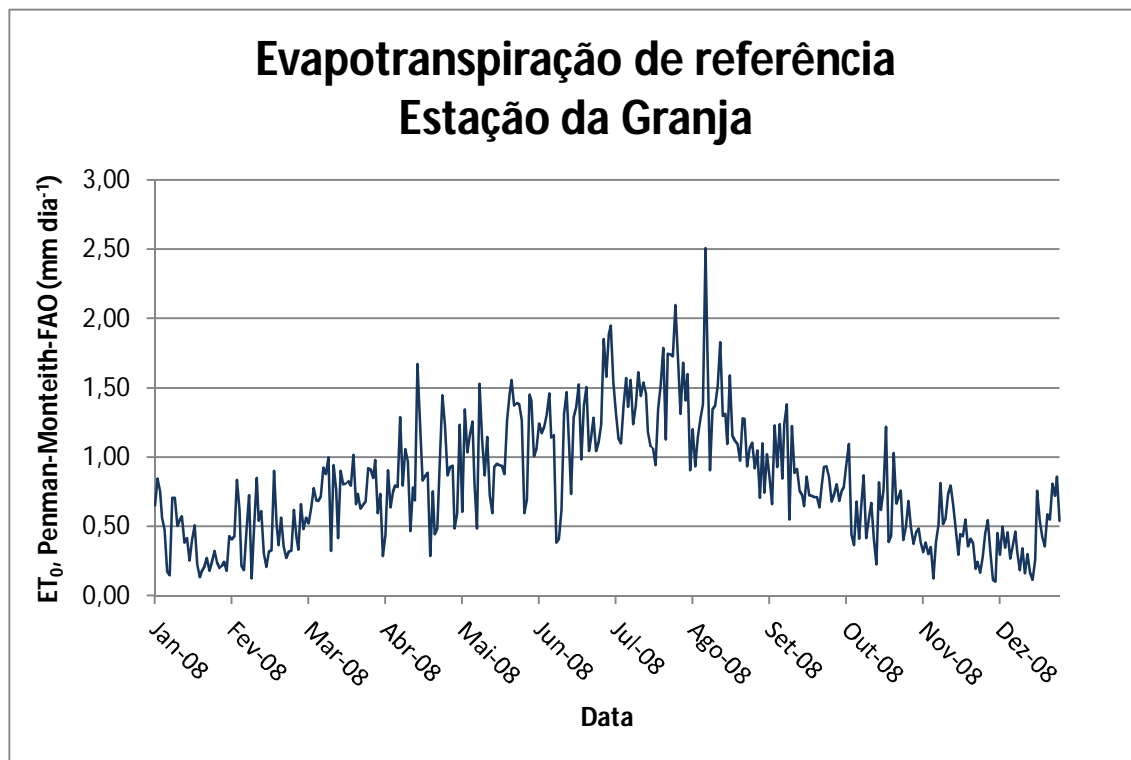


Gráfico 31 Evapotranspiração de referência simulada para a Estação da Granja, em 2008.

O gráfico da evapotranspiração de referência simulada para a estação da Granja (Gráfico 31) tem uma forma parabólica ao longo de 2008. Como se pode verificar neste gráfico, os meses com valores mais elevados de evapotranspiração de referência diária são Julho e Agosto e, com valores mais baixos, Janeiro e Dezembro. A média da evapotranspiração de referência diária foi de  $0,82 \text{ mm dia}^{-1}$ .

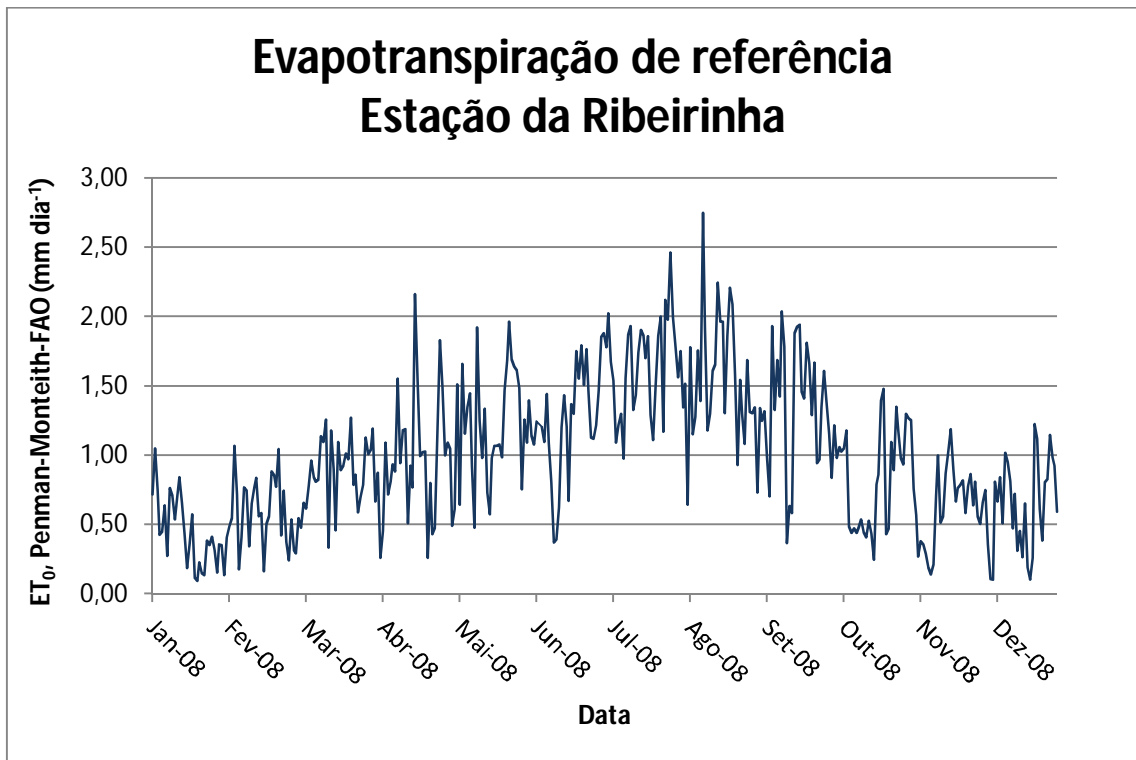


Gráfico 32 Evapotranspiração de referência simulada para a Estação da Ribeirinha, em 2008.

O gráfico da evapotranspiração de referência simulada para a estação da Ribeirinha (Gráfico 32) tem uma forma parabólica ao longo de 2008. Como se pode verificar neste gráfico, os meses com valores mais elevados de evapotranspiração de referência diária são Julho e Agosto e, com valores mais baixos, Janeiro e Dezembro. A média da evapotranspiração de referência diária foi de 1,00 mm dia<sup>-1</sup>.

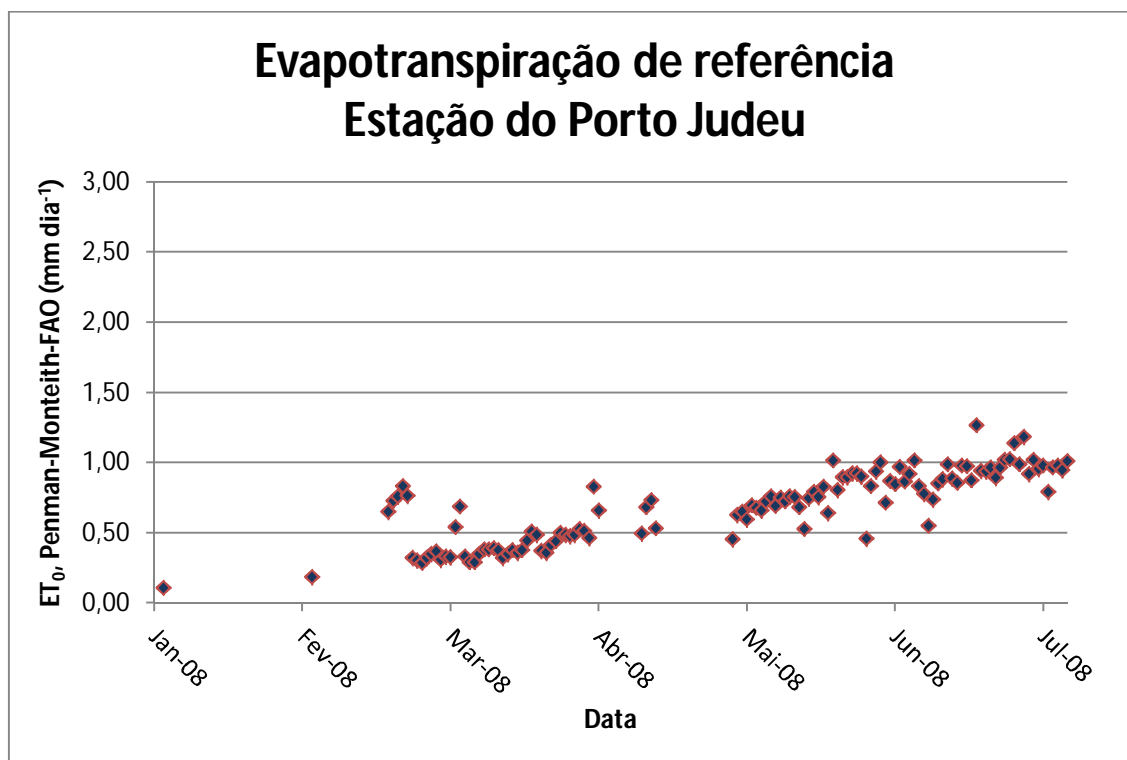


Gráfico 33 Evapotranspiração de referência simulada para a Estação do Porto Judeu, em 2008.

Os dados da evapotranspiração de referência simulada para a estação do Porto Judeu são incompletos para o ano de 2008 e apenas existem no período entre Janeiro e Julho deste ano.

Ao longo do período referido, o gráfico da evapotranspiração de referência (Gráfico 33) tem a forma da primeira metade de uma parábola. Os valores mais elevados deste parâmetro estão associados aos meses de Junho e Julho e os mais baixos aos meses de Janeiro e Fevereiro. A média da evapotranspiração de referência diária foi de 0,69 mm dia<sup>-1</sup>.

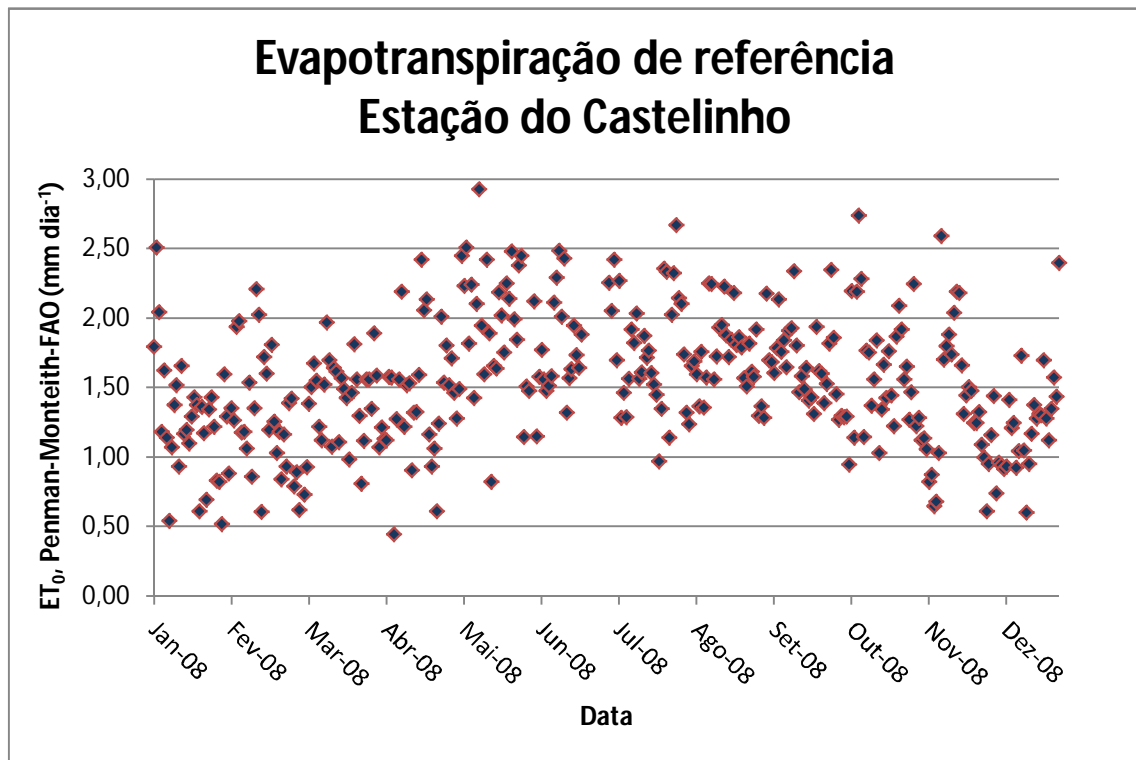


Gráfico 34 Evapotranspiração de referência simulada para a Estação do Castelinho, em 2008.

Os dados da evapotranspiração de referência simulada para a estação do Castelinho são incompletos para o ano de 2008, apesar de existirem no período entre Janeiro e Dezembro deste ano.

A evapotranspiração de referência variou de forma pouco diferenciada ao longo de 2008, como se verifica no gráfico anterior (Gráfico 34). Os valores mais elevados deste parâmetro estão associados aos meses de Junho e Julho e os mais baixos aos meses de Janeiro e Dezembro. A média da evapotranspiração de referência diária foi de  $1,54 \text{ mm dia}^{-1}$ .

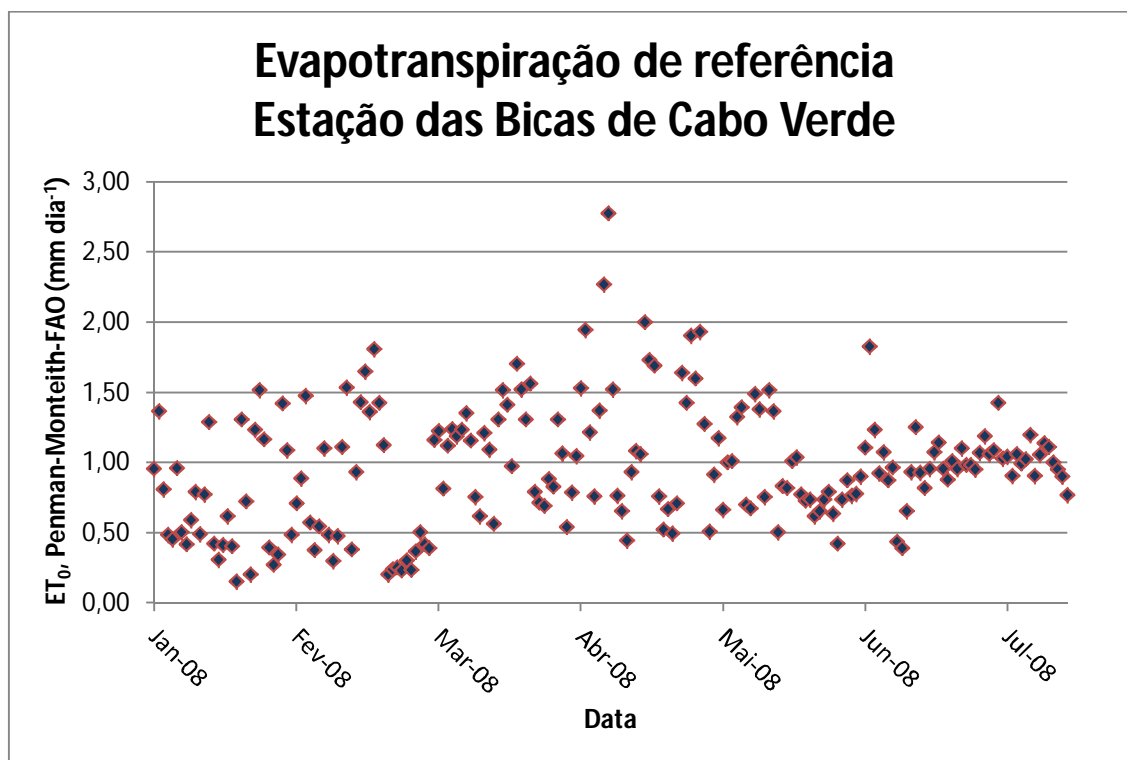


Gráfico 35 Evapotranspiração de referência simulada para a Estação das Bicas de Cabo Verde, em 2008.

Os dados da evapotranspiração de referência simulada para a estação das Bicas de Cabo Verde são incompletos para o ano de 2008 e apenas existem no período entre Janeiro e Julho deste ano.

Ao longo do período referido, a evapotranspiração de referência variou de forma pouco diferenciada, como se vê no gráfico anterior (Gráfico 35). Os valores mais elevados deste parâmetro estão associados ao mês de Abril e os mais baixo ao mês de Janeiro. A média da evapotranspiração de referência diária foi de  $0,96 \text{ mm dia}^{-1}$ .

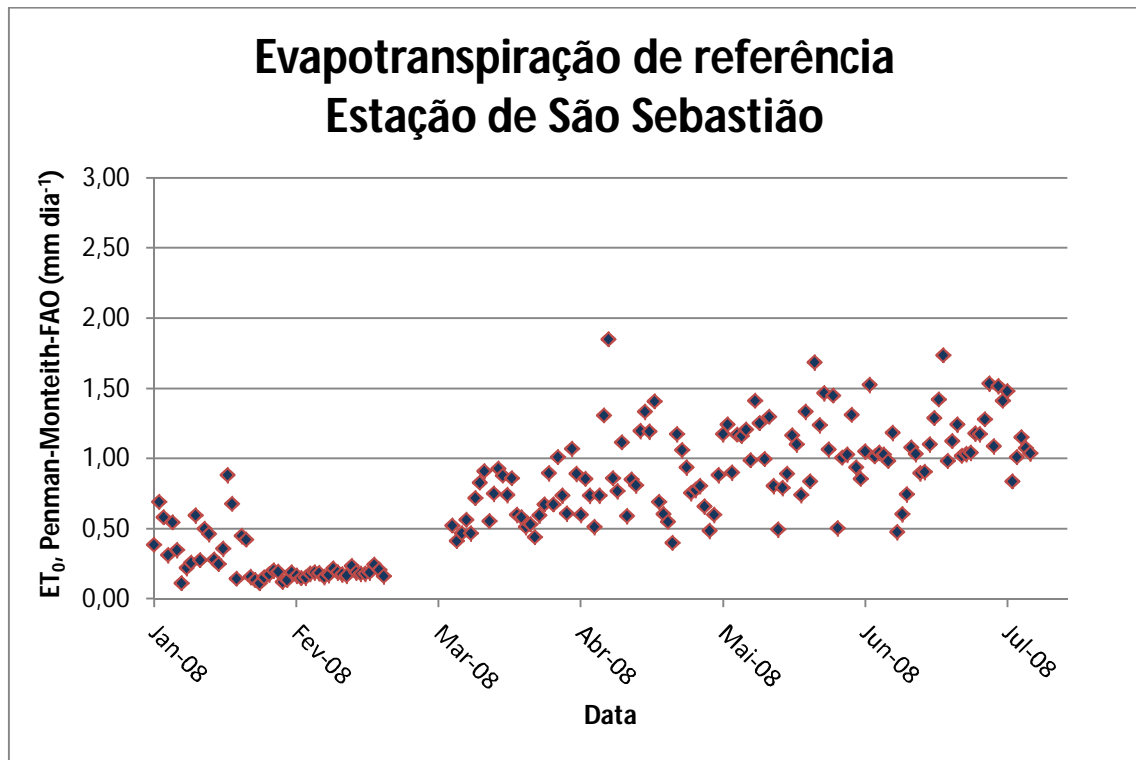


Gráfico 36 Evapotranspiração de referência simulada para a Estação de São Sebastião, em 2008.

Os dados da evapotranspiração de referência simulada para a estação de São Sebastião são incompletos para o ano de 2008 e apenas existem no período entre Janeiro e Julho deste ano.

Ao longo do período referido, a evapotranspiração de referência variou de forma pouco diferenciada, como se vê no gráfico anterior (Gráfico 36). Os valores mais elevados deste parâmetro estão associados aos meses de Junho e Julho e os mais baixos ao mês de Janeiro. A média da evapotranspiração de referência diária foi de 0,76 mm dia<sup>-1</sup>.

### 5.5.2 EQUAÇÃO EMPÍRICA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA DIÁRIA

Na sequência da análise dos gráficos de evapotranspiração de referência diária simulada apresentados acima, concluiu-se que apenas os dados das estações da Granja, Ribeirinha, Castelinho e Bicas de Cabo Verde podem ser utilizados para determinar a equação empírica deste parâmetro em função da cota. Neste sentido, simulou-se os valores de evapotranspiração de referência média diária para cada estação, no ano de 2008, através da equação de Penman-Monteith FAO (Allen *et al.*, 1998) (Equação 3), os

## 5 MODELAÇÃO HIDROLÓGICA DISTRIBUÍDA

quais são apresentados na tabela seguinte (Tabela 2), cuja relação com a cota se apresenta no gráfico seguinte (Gráfico 37):

Estação	Cota da estação (m)	Evapotranspiração de referência média diária - $ET_{0\text{ méd}}$ (mm dia <sup>-1</sup> )
Castelinho	14,4	1,544303134
Bicas	128,0	0,962159301
Granja	372,0	0,815753437
Ribeirinha	399,0	1,003176911

Tabela 2 Evapotranspiração de referência média diária por estação.

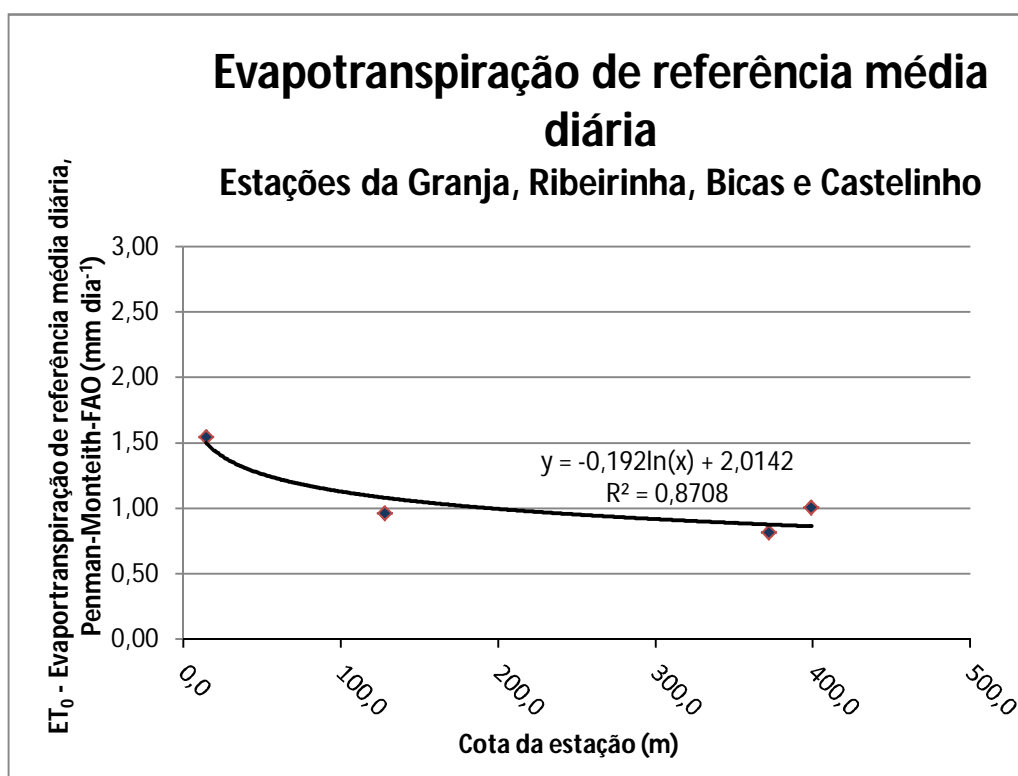


Gráfico 37 Evapotranspiração de referência média diária em função da cota.

Da análise do gráfico anterior (Gráfico 37) conclui-se que o comportamento da evapotranspiração de referência diária pode ser representado por uma linha logarítmica natural, pois tem associado um coeficiente de determinação  $R^2$  elevado, que assume o valor de 0,87, demonstrando que a evapotranspiração de referência tem uma dependência da altimetria, de acordo com a seguinte equação (Equação 4):

## 5 MODELAÇÃO HIDROLÓGICA DISTRIBUÍDA

$$ET_{0 \text{ diária}}(z) = a \ln(z) + b$$

Equação 4 – Expressão da evapotranspiração de referência diária em função da cota.

Em que:

$ET_{0 \text{ diária}}$  é a evapotranspiração de referência diária [mm dia<sup>-1</sup>]

$z$  é a cota [m]

$a$  é o coeficiente angular

$b$  é o coeficiente linear.

Do coeficiente angular  $a$  depende a “forma” da linha logarítmica natural representativa do comportamento da evapotranspiração de referência.

Admitiu-se que o coeficiente angular  $a$  pode ser estimado através da linha de tendência do gráfico de evapotranspiração de referência média diária em função da cota (Gráfico 37).

Assumiu-se o seguinte valor para o coeficiente angular  $a$ , uma vez que é o coeficiente associado à linha de tendência que relaciona a evapotranspiração de referência média com a cota (Gráfico 37):

$$a = -0,192$$

Equação 5 Coeficiente angular  $a$ .

O coeficiente linear  $b$  representa a ordenada na origem da linha logarítmica natural representativa do comportamento da evapotranspiração de referência e representa o valor máximo que esta pode assumir.

Na tentativa de estimar o coeficiente linear  $b$ , relacionou-se a evapotranspiração máxima diária (registada no dia 11 de Maio de 2008 na estação do Castelinho), média anual e mínima diária (registada no dia 5 de Dezembro de 2008 na estação da Granja), com a cota.

Nos dias em que a evapotranspiração de referência assumiu os valores máximo e mínimo, este parâmetro não pode ser simulado para a estação das Bicas de Cabo Verde, devido a haver lacuna de dados.

## 5 MODELAÇÃO HIDROLÓGICA DISTRIBUÍDA

Apresenta-se a relação acima referida na tabela (Tabela 3) e gráfico seguintes (Gráfico 38):

		Evapotranspiração de referência (mm dia <sup>-1</sup> )		
		Dia com ET <sub>0</sub> mínimo na estação da Granja	Dia com ET <sub>0</sub> máximo na estação do Castelinho	Média diária - ET <sub>0</sub> méd
Estação	Cota da estação (m)	05-12-2008	11-05-2008	
Castelinho	14,4	0,941605	2,928205	1,544303134
Bicas	128,0			0,962159301
Granja	372,0	0,104080212	1,529789704	0,815753437
Ribeirinha	399,0	0,100367439	1,92218394	1,003176911

Tabela 3 Evapotranspiração de referência diária máxima diária, média anual e mínima diária em função da cota.

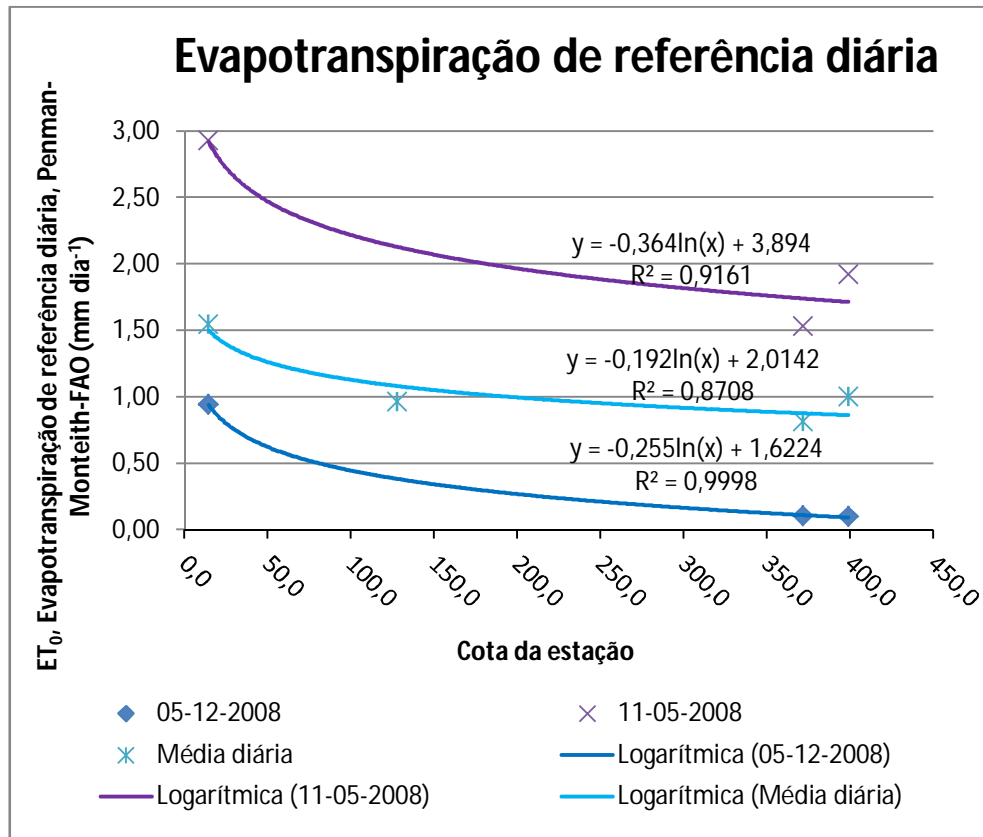


Gráfico 38 Evapotranspiração de referência diária máxima diária, média anual e mínima diária em função da cota.

Da análise do gráfico anterior (Gráfico 38) concluiu-se que existe uma boa correlação entre a evapotranspiração de referência diária simulada e a cota, dado que os coeficientes de determinação  $R^2$  variam entre 0,87 e 1,00.

Relacionaram-se os coeficientes lineares  $b$  das linhas de tendência do gráfico acima (Gráfico 38) com a evapotranspiração de referência diária na estação da Granja, uma vez que é a estação que se localiza no interior da bacia hidrográfica da Grota do Tapete, para os dias de evapotranspiração máxima diária (registada no dia 11 de Maio de 2008 na estação do Castelinho), média anual e mínima diária (registada no dia 5 de Dezembro de 2008 na estação da Granja).

Apresenta-se a relação acima referida na tabela (Tabela 4) e gráfico (Gráfico 39) seguintes:

## 5 MODELAÇÃO HIDROLÓGICA DISTRIBUÍDA

Evapotranspiração de referência diária da Granja - $ET_0$ (mm dia <sup>-1</sup> )		$b$	$R^2$
Máxima (11-05-2008)	1,5297897	3,894	0,9161
Média	0,81575344	2,0142	0,8708
Mínima (05-12-2008)	0,10408021	1,6224	0,9998

Tabela 4 Evapotranspiração de referência diária na estação da Granja e sua relação com o coeficiente linear  $b$  e coeficiente de determinação  $R^2$ .

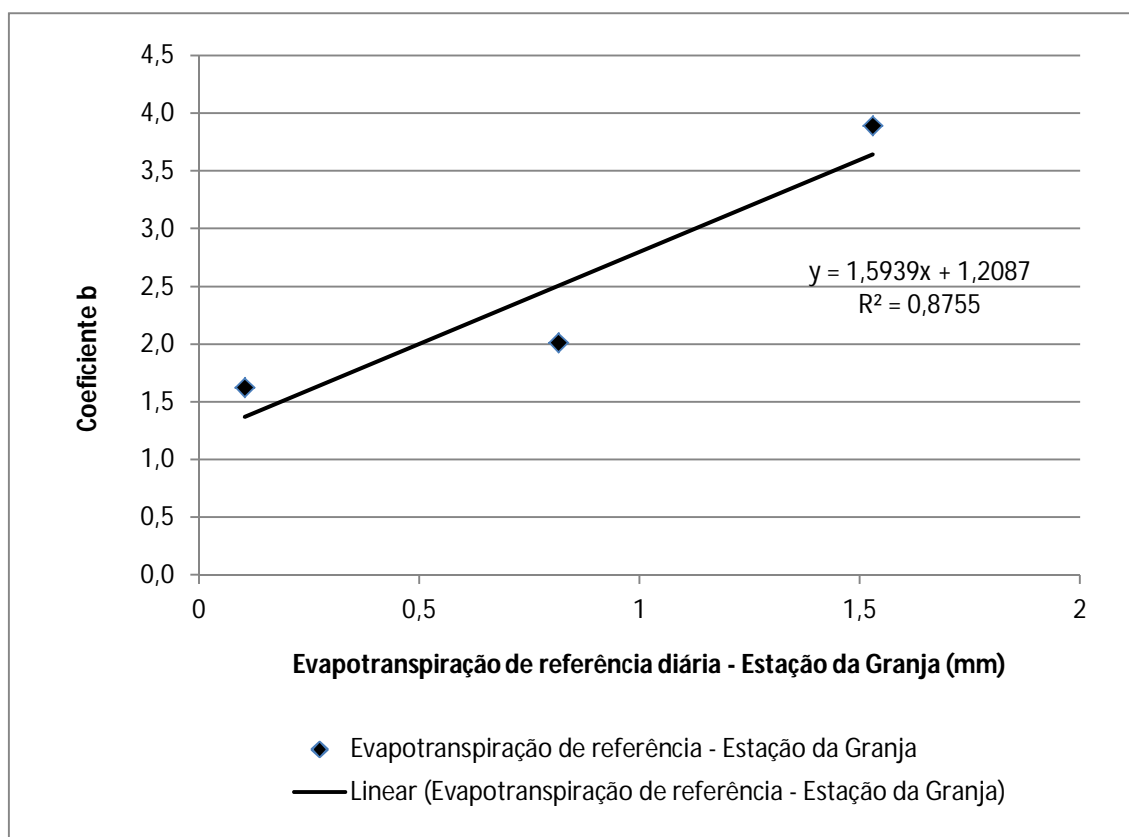


Gráfico 39 Coeficiente linear  $b$  em função da evapotranspiração de referência diária na estação da Granja.

Da análise do gráfico anterior (Gráfico 39) concluiu-se que existe uma boa correlação entre o coeficiente linear  $b$  e a evapotranspiração de referência diária simulada na estação da Granja, dado que o coeficiente de determinação  $R^2$  assume o valor de 0,88 e que, com  $n = 3$ ,  $b$  tem a seguinte expressão:

## 5 MODELAÇÃO HIDROLÓGICA DISTRIBUÍDA

$$b (ET_{0 \text{ diária Granja}}) = 1,5939 ET_{0 \text{ diária Granja}} + 1,2087$$

Equação 6 Coeficiente linear b em função da evapotranspiração de referência diária da estação da Granja.

Em que:

b é o coeficiente linear

$ET_{0 \text{ diária Granja}}$  é a evapotranspiração de referência diária simulada para a estação da Granja [ $\text{mm dia}^{-1}$ ]

Assim, para a bacia hidrográfica da Grotta do Tapete, a expressão empírica da evapotranspiração de referência diária será:

$$ET_{0 \text{ diária}} (z, ET_{0 \text{ diária Granja}}) = -0,192 \ln(z) + 1,5939 ET_{0 \text{ diária Granja}} + 1,2087$$

Equação 7 Expressão empírica da evapotranspiração de referência diária.

Em que:

$ET_{0 \text{ diária}}$  é a evapotranspiração de referência diária [ $\text{mm dia}^{-1}$ ]

z é a cota [m]

$ET_{0 \text{ diária Granja}}$  é a evapotranspiração de referência diária simulada para a estação da Granja [ $\text{mm dia}^{-1}$ ]

### 5.5.3 CALIBRAÇÃO DA EQUAÇÃO EMPÍRICA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA DIÁRIA

No decurso deste trabalho foram criadas cartas de evapotranspiração de referência diária distribuída para a bacia hidrográfica da Grotta do Tapete, através da equação empírica deste parâmetro, utilizando os valores de evapotranspiração de referência diária simulada na estação da Granja, o modelo digital de terreno da Ilha Terceira (o qual contém a informação da altimetria), o *software* ArcGIS e a extensão *Spatial Analyst*.

Selecionou-se cinco dias para a criação de cartas de evapotranspiração de referência diária distribuída, os quais foram:

- 13 de Fevereiro de 2008;

- 16 de Fevereiro de 2008;

## 5 MODELAÇÃO HIDROLÓGICA DISTRIBUÍDA

- 19 de Junho de 2008;
- 10 de Julho de 2008;
- 26 de Dezembro de 2008.

Após a criação das cartas acima referidas, foram comparados os valores de evapotranspiração de referência diária produzidos pelo modelo com os valores simulados pela fórmula de Penman-Monteith FAO (Allen *et al.*, 1998), para as estações da Granja, Ribeirinha e Castelinho, através da tabela (Tabela 5) e do gráfico (Gráfico 40), para o qual foi definida a passagem da linha de tendência pela origem, que são os seguintes:

	Estação	Evapotranspiração de referência (mm dia <sup>-1</sup> )		
		Simulada	Modelo	Diferença entre simulada e modelo
13-02-2008	Castelinho	1,17	1,67	-0,50
	Granja	0,61	1,05	-0,44
	Ribeirinha	0,56	1,03	-0,47
16-02-2008	Castelinho	1,29	1,13	0,16
	Granja	0,32	0,59	-0,27
	Ribeirinha	0,50	0,57	-0,07
19-06-2008	Castelinho	2,11	2,78	-0,67
	Granja	1,36	2,24	-0,88
	Ribeirinha	1,30	2,22	-0,92
10-07-2008	Castelinho	1,92	2,79	-0,87
	Granja	1,36	2,25	-0,89
	Ribeirinha	1,56	2,23	-0,67
26-12-2008	Castelinho	1,57	1,55	0,02
	Granja	0,59	1,01	-0,42
	Ribeirinha	0,81	1,00	-0,19

Tabela 5 Comparação de valores de evapotranspiração de referência diária simulados pela equação de Penman-Monteith-FAO (Allen *et al.*, 1998) e produzidos pelo modelo.

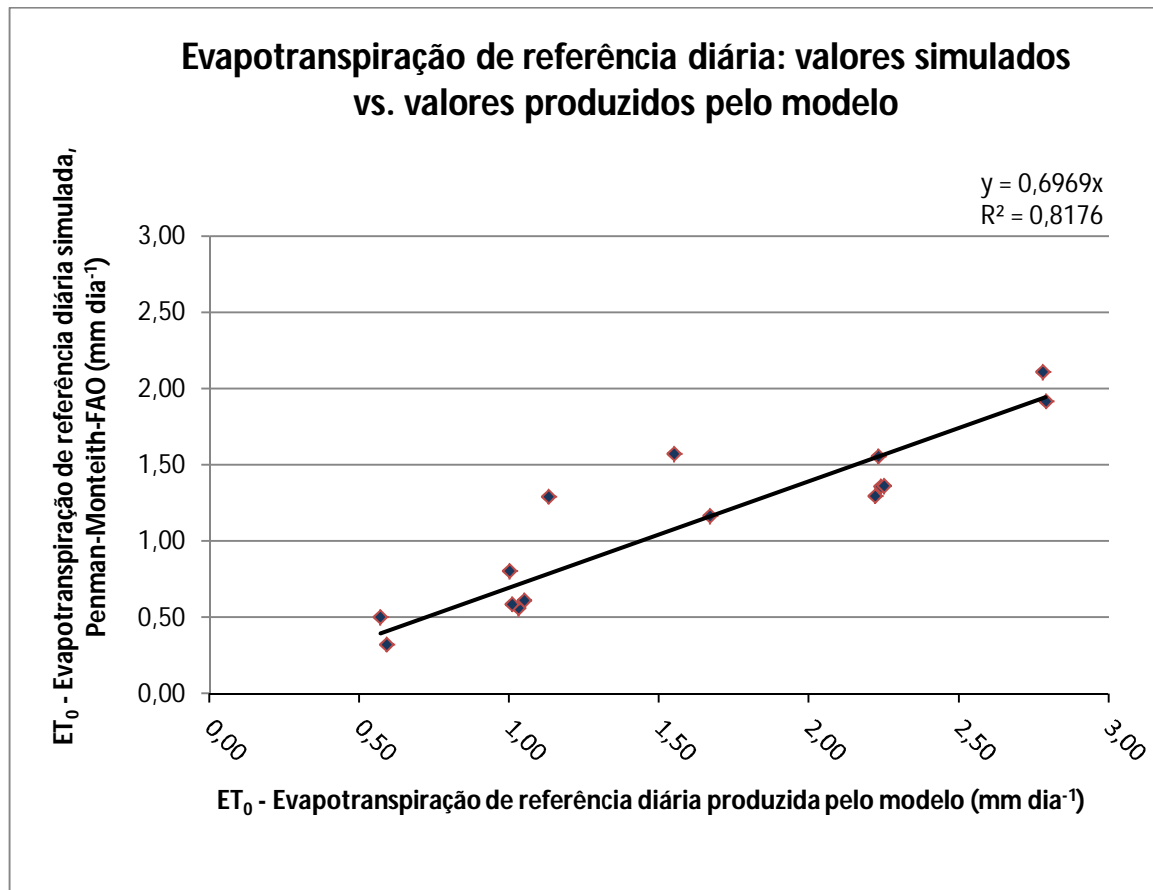


Gráfico 40 Evapotranspiração de referência diária: valores simulados pela fórmula de Penman-Monteith-FAO (Allen *et al.*, 1998) vs. valores produzidos pelo modelo.

Da análise da tabela anterior (Tabela 5), conclui-se que as diferenças entre os valores de evapotranspiração de referência diária simulados e os produzidos pelo modelo, para as estações referidas e dias analisados, não são superiores a  $0,92 \text{ mm dia}^{-1}$ .

Da análise do gráfico anterior (Gráfico 40) verifica-se que o coeficiente de determinação  $R^2$  é 0,82, mostrando uma boa correlação entre os valores de evapotranspiração de referência diária simulados e os modelados. Por outro lado, o coeficiente de regressão é inferior à unidade, significando que o modelo sobre-estimou a evapotranspiração de referência diária.

Assim, optou-se por efetuar a calibração do modelo, multiplicando por um factor de 0,72, à equação empírica da evapotranspiração de referência diária, valor que deu origem ao melhor coeficiente de regressão, obtendo-se a seguinte expressão:

## 5 MODELAÇÃO HIDROLÓGICA DISTRIBUÍDA

$$ET_{0 \text{ diária}}(z, ET_{0 \text{ diária Granja}}) = -0,13824 \ln(z) + 1,147608 * ET_{0 \text{ diária Granja}} + 0,870264$$

Equação 8 Equação empírica da evapotranspiração de referência diária em função da cota e da evapotranspiração de referência diária na estação da Granja.

Em que:

$ET_{0 \text{ diária}}$  é a evapotranspiração de referência diária [ $\text{mm dia}^{-1}$ ]

$z$  é a cota [m]

$ET_{0 \text{ diária Granja}}$  é a evapotranspiração de referência diária simulada para a estação da Granja [ $\text{mm dia}^{-1}$ ]

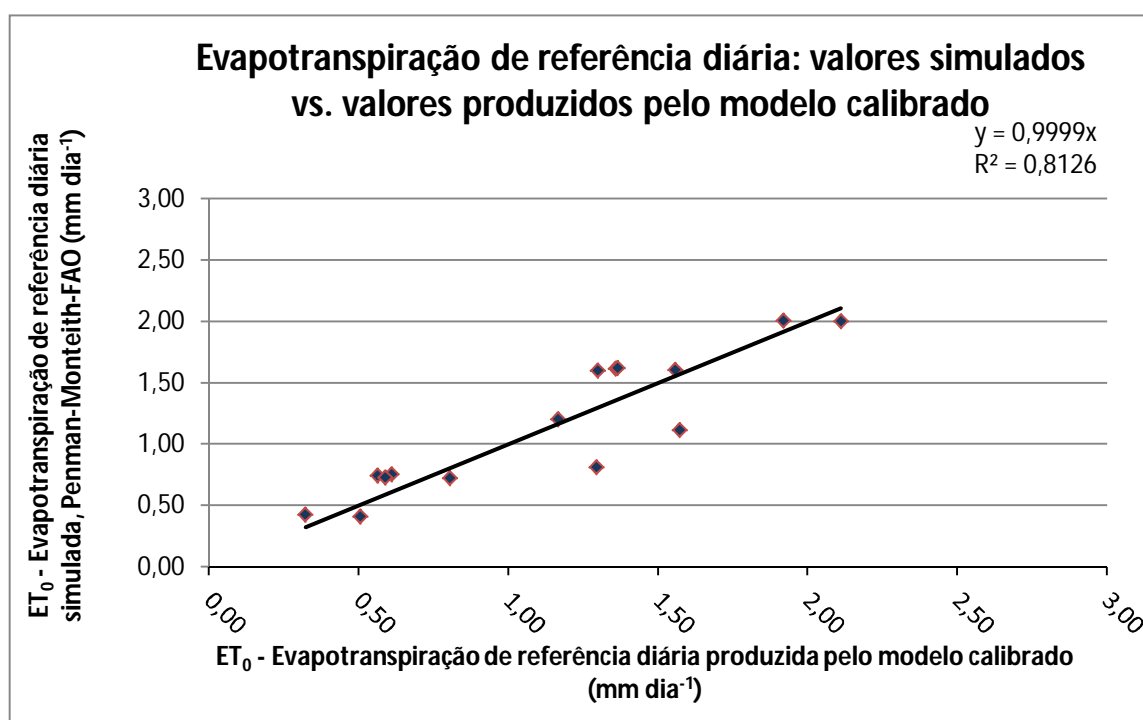


Gráfico 41 Evapotranspiração de referência diária: valores simulados pela equação de Penman-Monteith-FAO (Allen *et al.*, 1998) vs. valores produzidos pelo modelo calibrado.

Da análise do gráfico anterior (Gráfico 41) verifica-se que o coeficiente de determinação  $R^2$  é 0,81, mostrando uma boa correlação entre os valores de evapotranspiração de referência diária simulados e os gerados pelo modelo calibrado. Por outro lado, o coeficiente de regressão é praticamente igual à unidade, significando que o modelo está calibrado para a evapotranspiração de referência diária na Bacia Hidrográfica da Grota do Tapete.

#### 5.5.4 VALIDAÇÃO DA EQUAÇÃO EMPÍRICA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA DIÁRIA

No sentido de validar o modelo calibrado, foram criadas cartas de evapotranspiração de referência diária distribuída para os dias acima referidos, através da equação empírica deste parâmetro calibrada (Equação 3), utilizando os valores de evapotranspiração de referência diária simulada na estação da Granja, o modelo digital de terreno da Ilha Terceira (o qual contém a informação da altimetria) (Figura 14), o *software* ArcGIS e a extensão *Spatial Analyst*.

Após a criação das cartas acima referidas, foram comparados os valores de evapotranspiração de referência diária produzidos pelo modelo calibrado com os valores simulados pela fórmula de Penman-Monteith FAO (Allen *et al.*, 1998) (Equação 3), para as estações da Granja, Ribeirinha e Castelinho, através da tabela (Tabela 6) e do gráfico (Gráfico 42), tendo sido definida a passagem da linha de tendência pela origem, que são os seguintes:

	Estação	Evapotranspiração de referência (mm dia <sup>-1</sup> )		
		Simulada	Modelo calibrado	Diferença entre simulada e modelo calibrado
13-02-2008	Castelinho	1,17	1,14	0,02
	Granja	0,61	0,75	-0,14
	Ribeirinha	0,56	0,74	-0,18
16-02-2008	Castelinho	1,29	0,81	0,48
	Granja	0,32	0,42	-0,10
	Ribeirinha	0,50	0,41	0,09
19-06-2008	Castelinho	2,11	2,00	0,11
	Granja	1,36	1,61	-0,25
	Ribeirinha	1,30	1,60	-0,30
10-07-2008	Castelinho	1,92	2,01	-0,09
	Granja	1,36	1,62	-0,25
	Ribeirinha	1,56	1,61	-0,05
26-12-2008	Castelinho	1,57	1,12	0,46
	Granja	0,59	0,73	-0,14
	Ribeirinha	0,81	0,72	0,09

Tabela 6 Comparação de valores de evapotranspiração de referência diária simulados pela equação de Penman-Monteith-FAO (Allen *et al.*, 1998) e produzidos pelo modelo calibrado.

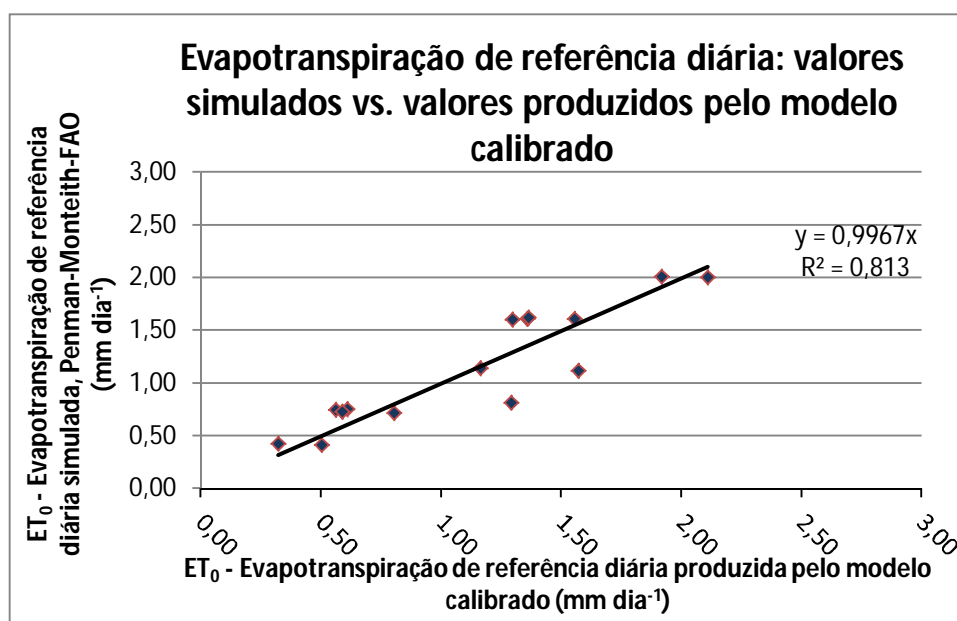


Gráfico 42 Evapotranspiração de referência diária: valores simulados pela equação de Penman-Monteith-FAO (Allen *et al.*, 1998) vs. valores produzidos pelo modelo calibrado.

Da análise da tabela anterior (Tabela 6), verificou-se que as diferenças entre os valores de evapotranspiração de referência diária simulados e os produzidos pelo modelo, para as estações referidas e dias analisados, não são superiores a 0,48 mm dia<sup>-1</sup>.

## 5 MODELAÇÃO HIDROLÓGICA DISTRIBUÍDA

Da análise do gráfico anterior (Gráfico 42) verificou-se que o coeficiente de determinação  $R^2$  é 0,81, mostrando uma boa correlação entre os valores de evapotranspiração de referência diária simulados e os modelados após calibração. Por outro lado, o coeficiente de regressão é praticamente igual à unidade, significando que o modelo pode ser validado para a evapotranspiração de referência diária na Bacia Hidrográfica da Grotta do Tapete.

As cartas de evapotranspiração de referência diária distribuída para a Bacia Hidrográfica da Grotta do Tapete foram criadas para os dias seleccionados (Figura 29, Figura 30, Figura 31, Figura 32 e Figura 33). Este tipo de cartas pode ser gerado para qualquer dia do ano para a bacia, desde que se disponha do valor deste parâmetro para a estação da Granja.

As cartas de evapotranspiração de referência diária distribuída para a ilha Terceira podem também ser geradas, no entanto, poderão ter maiores erros associados para as áreas exteriores à bacia supracitada.

### 5.6 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E HIDROLÓGICA DO SOLO

Os dados relativos às características físicas do solo foram recolhidos da bibliografia (Fontes, 1999; Pinheiro, 1990). A base dados foi estruturada e o seu processamento efetuado, através de fórmulas físicas, no programa Excel.

#### 5.6.1 TIPOS DE SOLOS

Os tipos de solos presentes na bacia hidrográfica da Grotta do Tapete são Andossolos saturados e Andossolos insaturados (Pinheiro, 1990).

#### 5.6.2 GRUPOS HIDROLÓGICOS DE SOLO

De acordo com a carta de solos adaptada de Pinheiro (1990), na zona da Granja estão presentes Andossolos insaturados e, de acordo com as taxas de infiltração a eles associadas (Fontes, 1999), pertencem ao grupo hidrológico de solos B.

Na zona de estudo também estão presentes Andossolos saturados, os quais pertencem ao grupo hidrológico de solos D (SCS, 1972).

### 5.7 USOS DE SOLO

O local estudado foi classificado em termos de usos do solo, dividindo-o nas classes agrícola, industrial, urbana e lagoa.

A carta de usos do solo da bacia hidrográfica da Grota do Tapete (Figura 36) foi criada recorrendo ao *software* ArcGIS, com recurso aos ortofotos da Ilha Terceira, ao *shapefile* da rede viária da Ilha Terceira, ao qual se aplicou uma expansão de 3,0 m para cada lado do eixo da via, pois as faixas de rodagem têm esta largura, na generalidade das situações, ao *shapefile* com os edifícios da Ilha Terceira, apoiada pelo reconhecimento de superfície, de forma a gerar polígonos com os seguintes usos:

- Agrícola, que incluiu solo nú, pastagem, pastagem nova e milho;
- Urbano, que incluiu edifícios e estradas;
- Industrial;
- Lagoa.

Embora os ortofotos utilizados sejam de 2004, assumiu-se que o uso do solo tenha pouca variabilidade em relação a 2008.

### 5.8 OCUPAÇÃO DO SOLO

As atividades antrópicas, ao alterarem o coberto vegetal, as características topográficas do terreno e a própria estrutura da rede de drenagem, têm exercido um impacto crescente sobre a hidrologia superficial insular nos últimos anos.

Com a cartografia temática de ocupação do solo é possível analisar a extensão e distribuição de classes de ocupação do solo e, simultaneamente, servir de base para a produção de informação sobre outros temas.

O local estudado foi classificado em termos de ocupação do solo, produzindo-se cartas mensais de ocupação do solo, que refletem a rotatividade mensal da ocupação de determinadas áreas.

## 5 MODELAÇÃO HIDROLÓGICA DISTRIBUÍDA

O revestimento vegetal, ao regularizar a infiltração, atenuar os efeitos físicos da precipitação no solo e contribuir para a ocorrência de precipitações ocultas, assume um papel crucial na hidrologia superficial insular.

Estas cartas foram criadas no *software* ArcGIS, com recurso aos ortofotos da Ilha Terceira, à carta de usos do solo criadas no decurso deste trabalho, apoiadas pelo reconhecimento de superfície, de forma a gerar polígonos com as seguintes ocupações do solo:

- Pastagem;
- Milho a altitudes iguais e inferiores a 200 m;
- Milho a altitudes superiores a 200 m;
- Área urbanizada que inclui edifícios, estradas e áreas com indústria;
- Lagoa.

Embora os ortofotos utilizados sejam de 2004, assumiu-se que a ocupação e manejo do solo tenha pouca variabilidade em relação a 2008.

O coberto vegetal dominante na bacia hidrográfica da Grotta do Tapete é a pastagem. Existem pastagens permanentes e pastagens temporárias, onde são feitas rotações com a cultura do milho.

As pastagens permanentes situam-se na zona de média altitude, enquanto que as pastagens temporárias se situam, maioritariamente, a cotas mais baixas.

A área ocupada por milho foi dividida em áreas localizadas a altitudes até 200 m, inclusive, e em áreas localizadas a cotas superiores a 200 m. Esta divisão foi efetuada porque a sementeira do milho, nas áreas localizadas a altitudes até 200 m, é realizada, em termos gerais, em Maio e, nas áreas localizadas a cotas superiores a 200m, em Junho, de acordo com o que se conhece da realidade da zona.

Dado que a sementeira de milho é efetuada mais tarde em cotas superiores a 200 m, a respetiva colheita também é efetuada mais tarde.

## 5 MODELAÇÃO HIDROLÓGICA DISTRIBUÍDA

Nas áreas onde se semeia milho, a cotas inferiores a 200 m, é feita a ressementeira da pastagem em Agosto, e a cotas superiores a 200 m, em Setembro.

Na tabela seguinte (Tabela 7) são apresentados os coeficientes culturais ( $K_c$ ) mensais, por tipo de ocupação de solo, utilizados neste trabalho.

5 MODELAÇÃO HIDROLÓGICA DISTRIBUÍDA

Ocupação de solo	Kc_JAN	Kc_FEV	Kc_MAR	Kc_ABR	Kc_MAI	Kc_JUN	Kc_JUL	Kc_AGO	Kc_SET	Kc_OUT	Kc_NOV	Kc_DEZ
Pastagem permanente	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Rotação pastagem - milho - pastagem a cotas iguais e inferiores a 200 m	1	1	1	1	0,5	1,2	0,8	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Rotação pastagem - milho - pastagem a cotas superiores a 200 m	1	1	1	1	1	0,5	1,2	0,8	0,4	0,4	0,4	0,4
Área Urbanizada	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Legenda:

	Pastagem
	Milho
	Ressementeira de pastagem

Tabela 7 Tabela de coeficientes culturais ( $K_c$ ) mensais, por tipo de ocupação de solo.



## 5 MODELAÇÃO HIDROLÓGICA DISTRIBUÍDA

Considerou-se que o  $K_c$  das áreas ocupadas por pastagem assumem o valor 1 e, as áreas urbanizadas, um valor nulo, ao longo de todo o ano.

A cada polígono criado na carta de ocupação e manejo do solo, foi atribuído um valor mensal de coeficiente cultural,  $K_c$ , de forma a refletir a variação do ocupação do solo, para o mesma área, ao longo do ano, de acordo com o seguinte gráfico (Gráfico 43):

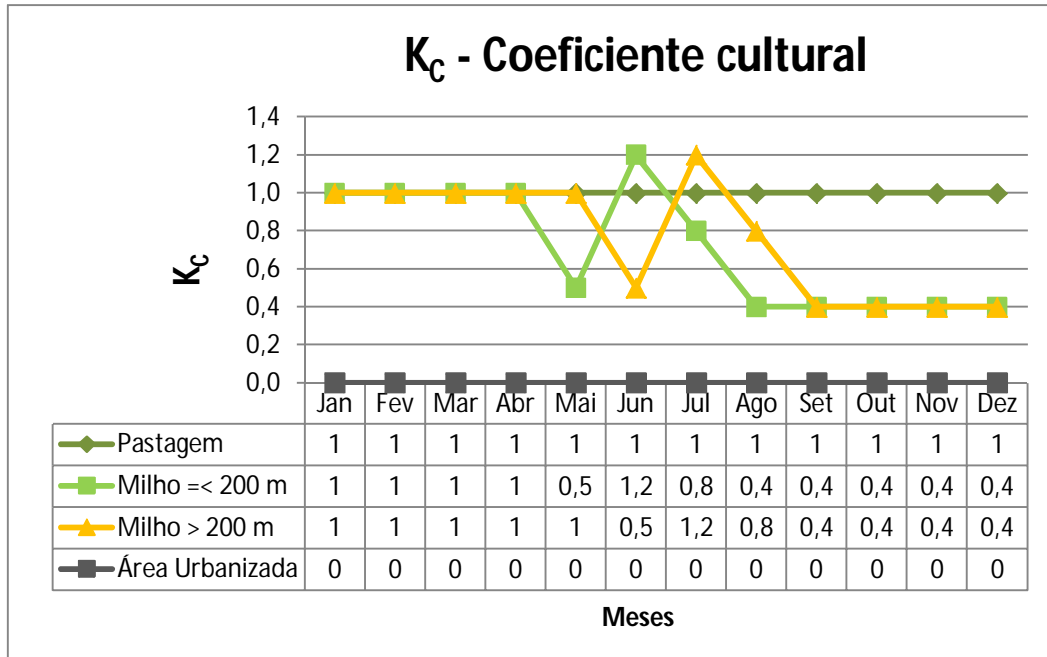


Gráfico 43  $K_c$  – Coeficientes culturais.

Através do ArcGIS, as cartas mensais de ocupação de solo com os coeficientes culturais associados, foram convertidas em *grids* mensais de coeficientes culturais (Figura 37, Figura 38, Figura 39 e Figura 40).

### 5.9 EVAPOTRANSPIRAÇÃO REAL

A evapotranspiração é o processo de perda de vapor de água para a atmosfera através de superfícies complexas, mortas ou vivas, em particular o solo e as plantas. Este fenómeno compreende a evaporação, respeitante às perdas a partir de superfícies inertes, e a transpiração, relativa à passagem da água à atmosfera através das plantas.

## 5 MODELAÇÃO HIDROLÓGICA DISTRIBUÍDA

O método de estimação da evapotranspiração real escolhido foi aquele que utiliza a evapotranspiração de referência simulada através da equação de Penman-Monteith-FAO (Allen *et al.*, 1998) (Equação 3) e os coeficientes culturais ( $K_c$ ) (Tabela 7).

O cálculo da evapotranspiração real, utilizando a metodologia dos coeficientes culturais ( $K_c$ ) médios relativos às várias fases das culturas, fornece resultados satisfatórios para cálculos com diferentes passos temporais, incluindo a estimativa da evapotranspiração diária para a maioria das aplicações (Pereira, 2004).

A equação da evapotranspiração real é a seguinte:

$$ET_R = ET_0 \times K_c$$

Equação 9 Evapotranspiração real.

Em que:

$ET_R$  é a evapotranspiração real [ $\text{mm d}^{-1}$ ]

$ET_0$  é a evapotranspiração de referência [ $\text{mm d}^{-1}$ ]

$K_c$  é o coeficiente cultural.

No decurso deste trabalho foram criadas cartas de evapotranspiração real diária distribuída para a bacia hidrográfica da Grota do Tapete (Figura 41, Figura 42, Figura 43, Figura 44 e Figura 45) através da equação deste parâmetro (Equação 9), do *software* ArcGIS e da extensão *Spatial Analyst*, utilizando as cartas de evapotranspiração de referência diária distribuída geradas no decurso deste trabalho (Figura 29, Figura 30, Figura 31, Figura 32 e Figura 33) e as *grids* mensais de coeficientes culturais (Figura 37, Figura 38, Figura 39 e Figura 40).

Assim, resultaram cartas de evapotranspiração real distribuída para a bacia hidrográfica da Grota do Tapete para os seguintes dias:

- 13 de Fevereiro de 2008 (Figura 41);
- 16 de Fevereiro de 2008 (Figura 42);
- 19 de Junho de 2008 (Figura 43);
- 10 de Julho de 2008 (Figura 44);

## 5 MODELAÇÃO HIDROLÓGICA DISTRIBUÍDA

- 26 de Dezembro de 2008 (Figura 45).

A seguinte tabela (Tabela 8) apresenta os valores de evapotranspiração real diária na estação da Granja, obtidos das cartas de evapotranspiração real diária distribuída:

<b>Estação da Granja</b>	<b>Evapotranspiração real (mm dia<sup>-1</sup>)</b>
<b>Data</b>	<b>Modelo</b>
<b>13-02-2008</b>	0,75
<b>16-02-2008</b>	0,42
<b>19-06-2008</b>	1,61
<b>10-07-2008</b>	1,62
<b>26-12-2008</b>	0,72

Tabela 8 Valores de evapotranspiração real diária na estação da Granja.

As cartas de evapotranspiração real diária distribuída para a bacia hidrográfica da Grota do Tapete podem ser criadas para qualquer dia do ano, desde que se disponha do valor da evapotranspiração de referência para a estação da Granja.

### 5.10 PRECIPITAÇÃO

A precipitação é um dos parâmetros fundamentais para o balanço hídrico. Neste subcapítulo é apresentado um modelo para gerar cartas de precipitação diária distribuída para uma determinada área, com recurso ao *software* ArcGIS e da extensão *Spatial Analyst*.

A precipitação oculta, embora de significativa importância hidrológica nas ilhas macaronésicas (Fontes, 2006), será considerada nula no sistema hidrológico em questão. Este parâmetro depende do tipo de cobertura vegetal, que no caso da bacia da Grota do Tapete, é composto, essencialmente, por pastagem permanente, originando valores insignificantes de precipitação oculta.

#### 5.10.1 EQUAÇÃO EMPÍRICA DA PRECIPITAÇÃO DIÁRIA EM FUNÇÃO DA COTA

Na sequência da análise dos gráficos de precipitação diária apresentados acima, concluiu-se que apenas os dados das estações da Granja, Ribeirinha e Castelinho podem ser utilizados para determinar a equação empírica deste parâmetro em função da cota.

## *5 MODELAÇÃO HIDROLÓGICA DISTRIBUÍDA*

Neste sentido, relacionou-se a precipitação diária observada nas estações acima referidas com a cota, em vinte dias distribuídos ao longo de todo o ano, tendo-se obtido linhas de tendência lineares, as quais são apresentadas no gráfico seguinte (Gráfico 44):

## 5 MODELAÇÃO HIDROLÓGICA DISTRIBUÍDA

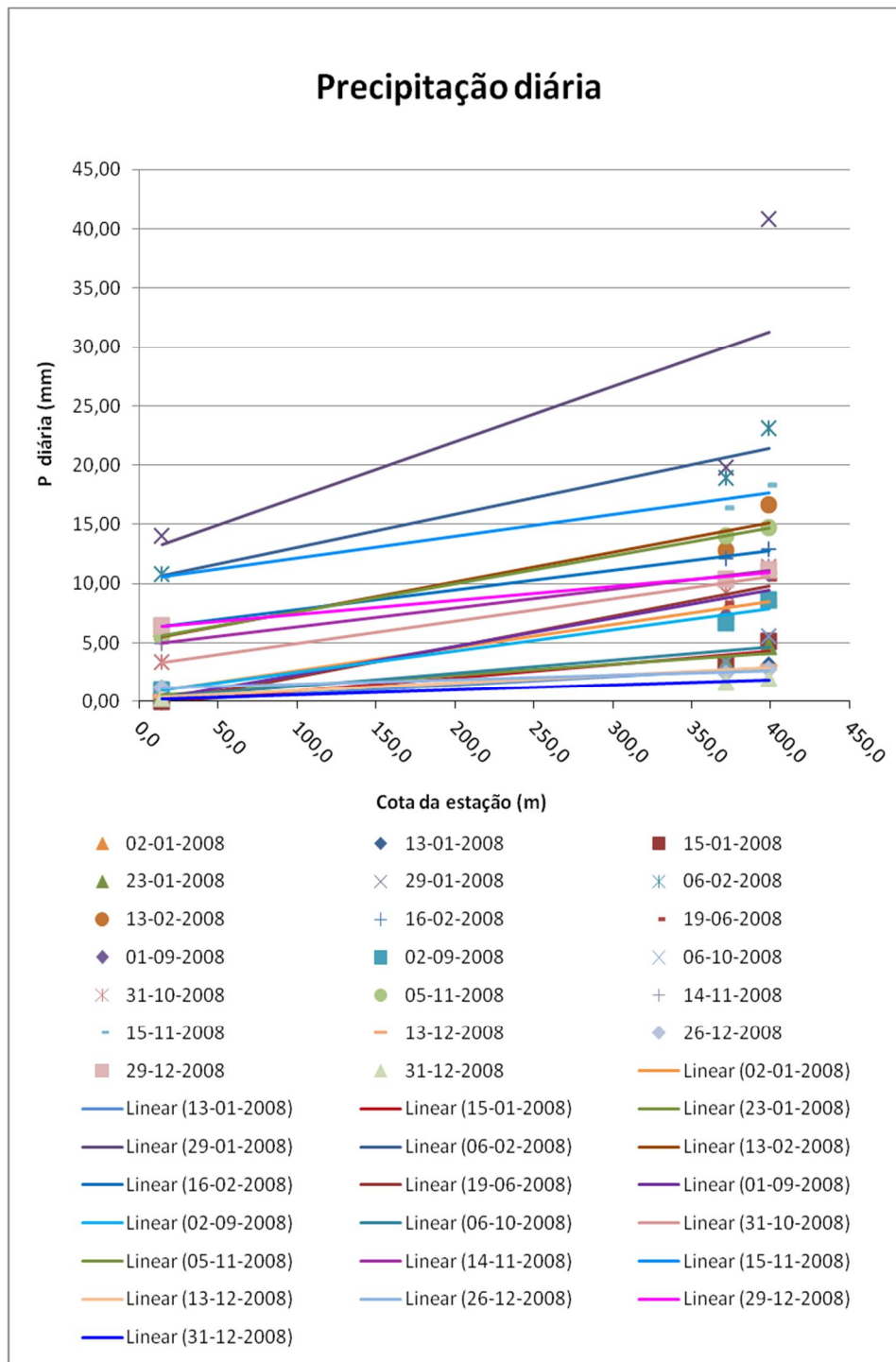


Gráfico 44 Precipitação diária nas estações do Castelhinho, Granja e Ribeirinha, em função da cota.

Da análise do gráfico anterior (Gráfico 44) verifica-se que as linhas de tendência são lineares, de acordo com a seguinte expressão:

## 5 MODELAÇÃO HIDROLÓGICA DISTRIBUÍDA

$$y(x) = a x + b$$

Equação 10 Expressão das linhas de tendência.

Em que:

$y$  é a variável dependente [mm]

$x$  é a variável independente [m]

$a$  é o coeficiente angular

$b$  é o coeficiente linear.

A seguinte tabela apresenta os coeficientes angulares ( $a$ ), os coeficientes lineares ( $b$ ) e os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) das linhas de tendência geradas para os vinte dias analisados, bem como a precipitação diária observada nesses na estação da Granja, que representa a estação de referência, uma vez que se localiza no interior a bacia hidrográfica da Grota do Tapete (Tabela 9):

## 5 MODELAÇÃO HIDROLÓGICA DISTRIBUÍDA

Data	P <sub>diária Granja</sub> (mm)	<i>a</i>	<i>b</i>	R <sup>2</sup>
02-01-2008	7,7	0,0196	0,6967	0,9954
13-01-2008	2,5	0,0076	-0,1238	0,9855
15-01-2008	3,2	0,0114	-0,2223	0,9043
23-01-2008	3,3	0,0093	0,4239	0,9238
29-01-2008	19,8	0,0468	12,6080	0,5083
06-02-2008	18,9	0,0280	10,2720	0,9238
13-02-2008	12,8	0,0251	5,1209	0,9179
16-02-2008	12,1	0,0165	6,1496	0,9975
19-06-2008	8,4	0,0255	-0,4152	0,9858
01-09-2008	7,2	0,0238	-0,0534	0,9172
02-09-2008	6,7	0,0181	0,6877	0,9681
06-10-2008	3,4	0,0113	0,1680	0,8678
31-10-2008	9,2	0,0189	3,0660	0,9572
05-11-2008	14,0	0,0236	5,2580	1,0000
14-11-2008	10,4	0,0160	4,7492	0,9932
15-11-2008	16,4	0,0184	10,2840	0,9693
13-12-2008	2,6	0,0065	0,2982	0,9935
26-12-2008	2,4	0,0038	1,1342	0,9681
29-12-2008	10,4	0,0119	6,2109	0,9913
31-12-2008	1,6	0,0044	0,1270	0,9776

Tabela 9 Coeficientes angulares (*a*), coeficientes lineares (*b*) e coeficientes de determinação (R<sup>2</sup>) das linhas de tendência geradas para os vinte dias analisados e precipitação diária observada na estação da Granja nestes dias.

Da análise do gráfico (Gráfico 44) e da tabela (Tabela 9) anteriores, verifica-se que o comportamento da precipitação diária diária pode ser representado por uma recta pois, na grande maioria dos casos analisados, os coeficientes de determinação R<sup>2</sup> associados são elevados, demonstrando que a precipitação diária tem uma dependência da altimetria, de acordo com a seguinte equação:

$$P_{diária}(z) = a z + b$$

Equação 11 Expressão da precipitação diária em função da cota.

Em que:

P<sub>diária</sub> é a precipitação diária [mm]

z é a cota [m]

a é o coeficiente angular

b é o coeficiente linear.

## 5 MODELAÇÃO HIDROLÓGICA DISTRIBUÍDA

Do coeficiente angular  $a$  depende a inclinação da recta representativa do comportamento da precipitação.

Admitiu-se que o coeficiente angular  $a$  pode ser estimado através da média dos coeficientes angulares apresentados na tabela anterior (Tabela 9), que constituem os coeficientes angulares das linhas de tendência geradas para os vinte dias analisados.

Assim, o coeficiente angular  $a$  assume o seguinte valor:

$$a = 0,0173$$

Equação 12 Coeficiente angular  $a$ .

A ordenada na origem da recta representativa do comportamento da precipitação é coeficiente linear  $b$  e representa o valor mínimo que esta pode assumir.

Na tentativa de estimar o coeficiente linear  $b$ , relacionou-se os coeficiente lineares  $b$  das linhas de tendência do gráfico de precipitação diária em função da cota (Gráfico 44), para os vinte dias analisados, com a precipitação diária observada na estação da Granja, uma vez que é a estação que se localiza no interior da bacia hidrográfica da Grota do Tapete, cujo resultado se apresenta no gráfico seguinte (Gráfico 45):

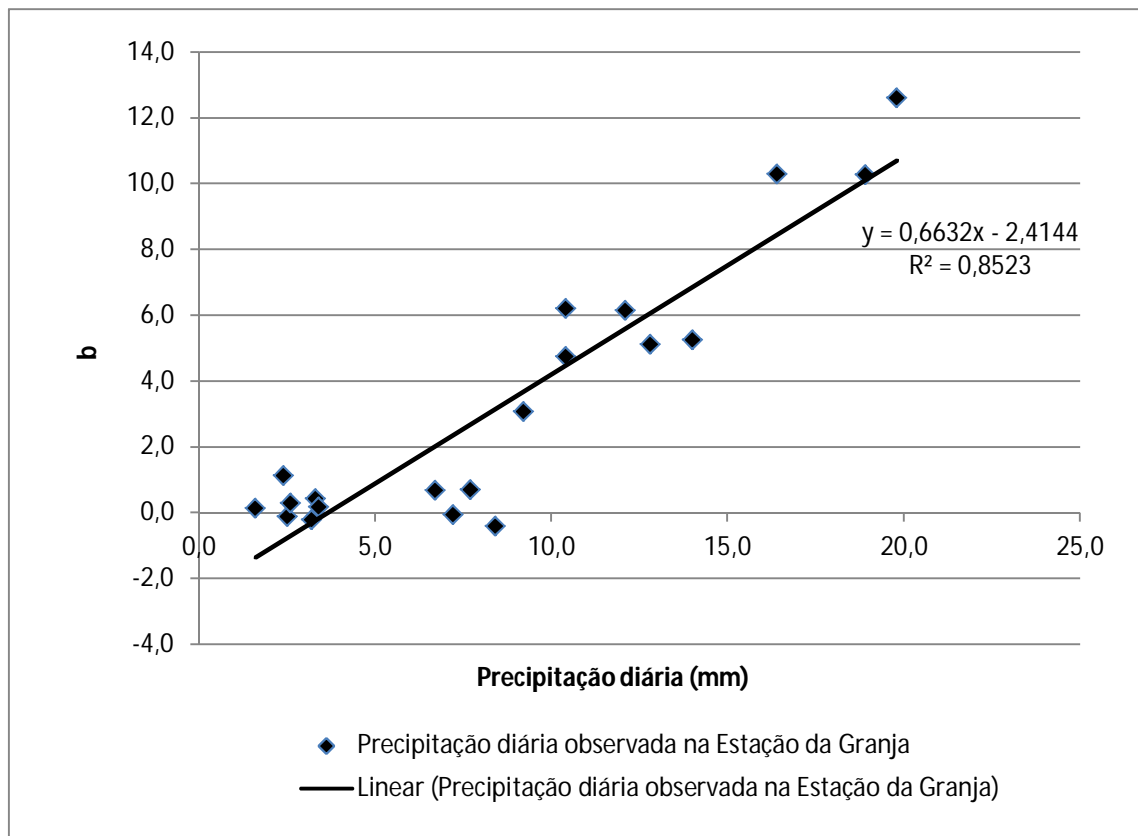


Gráfico 45 Coeficiente linear  $b$  em função da precipitação diária observada na estação da Granja.

Da análise do gráfico anterior (Gráfico 45) concluiu-se que existe uma boa correlação entre o coeficiente linear  $b$  e a precipitação diária na estação da Granja, dado que o coeficiente de determinação  $R^2$  assume o valor de 0,85 e que, com  $n = 20$ ,  $b$  tem a seguinte expressão:

$$b(P_{\text{diária Granja}}) = 0,6632 P_{\text{diária Granja}} - 2,4144$$

Equação 13 Equação do coeficiente linear  $b$  em função da precipitação diária na estação da Granja.

Em que:

$b$  é o coeficiente linear

$P_{\text{diária Granja}}$  é a precipitação diária observada na estação da Granja [mm]

Assim, para a bacia hidrográfica da Grota do Tapete, a expressão empírica da precipitação diária será:

## 5 MODELAÇÃO HIDROLÓGICA DISTRIBUÍDA

$$P_{\text{diária}}(z, P_{\text{diária Granja}}) = 0,0173 z + 0,6632 P_{\text{diária Granja}} - 2,4144$$

Equação 14 Equação empírica da precipitação diária em função da cota e da precipitação diária na estação da Granja.

Em que:

$P_{\text{diária}}$  é a precipitação diária [mm]

$z$  é a cota [m]

$P_{\text{diária Granja}}$  é a precipitação diária observada na estação da Granja [mm]

### 5.10.2 CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO DA EQUAÇÃO EMPÍRICA DA PRECIPITAÇÃO DIÁRIA

No decurso deste trabalho foram criadas cartas de precipitação diária distribuída para a bacia hidrográfica da Grotta do Tapete, através da equação empírica deste parâmetro (Equação 14), utilizando os valores de precipitação diária observados na estação da Granja, o modelo digital de terreno da Ilha Terceira (o qual contém a informação da altimetria) (Figura 14), o *software* ArcGIS e a extensão *Spatial Analyst*.

Selecionou-se cinco dias para a criação de cartas de precipitação diária distribuída, os quais foram:

- 13 de Fevereiro de 2008 (Figura 46);
- 16 de Fevereiro de 2008 (Figura 47);
- 19 de Junho de 2008 (Figura 48);
- 10 de Julho de 2008 (Figura 49);
- 26 de Dezembro de 2008 (Figura 50).

Após a criação das cartas acima referidas, foram comparados os valores de precipitação diária produzidos pelo modelo com os valores observados nas estações da Granja, Ribeirinha e Castelinho, através da tabela (Tabela 10) e do gráfico (Gráfico 46) seguintes, tendo sido definida a passagem da linha de tendência pela origem:

## 5 MODELAÇÃO HIDROLÓGICA DISTRIBUÍDA

	Estação	Precipitação diária (mm)		
		Observada	Modelo	Diferença entre observada e modelo
13-02-2008	Castelinho	5,6	6,3	-0,7
	Granja	12,8	12,5	0,3
	Ribeirinha	16,7	13,0	3,7
16-02-2008	Castelinho	6,4	6,0	0,4
	Granja	12,1	12,0	0,1
	Ribeirinha	12,9	12,5	0,4
19-06-2008	Castelinho	0,0	3,4	-3,4
	Granja	8,4	9,6	-1,2
	Ribeirinha	10,4	10,0	0,4
10-07-2008	Castelinho	0,0	0,0	0,0
	Granja	0,0	4,0	-4,0
	Ribeirinha	1,0	4,5	-3,5
26-12-2008	Castelinho	1,2	0,0	1,2
	Granja	2,4	5,6	-3,2
	Ribeirinha	2,8	6,1	-3,3

Tabela 10 Comparação de valores de precipitação diária observados e os produzidos pelo modelo.

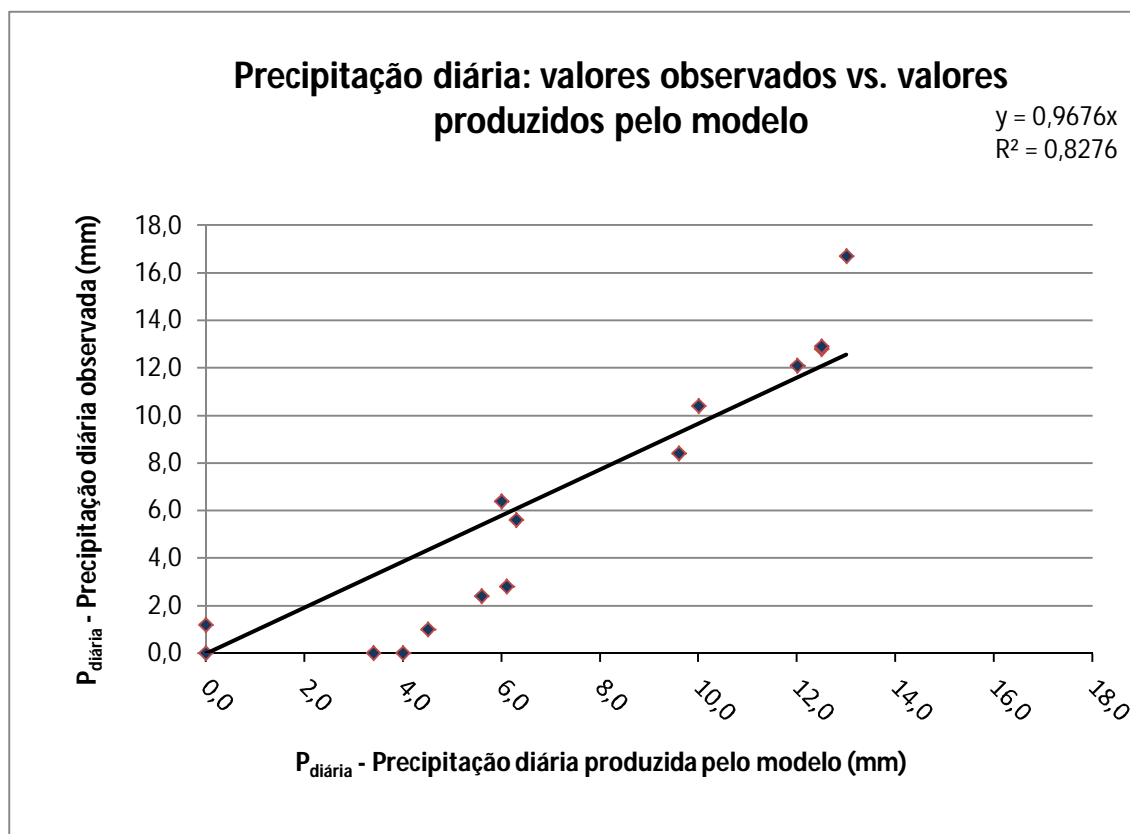


Gráfico 46 Precipitação diária: valores observados vs. valores produzidos pelo modelo.

Da análise da tabela anterior (Tabela 10), verificou-se que as diferenças entre os valores de precipitação diária observados e os produzidos pelo modelo, para as estações referidas e dias analisados, não são superiores a 4,0 mm.

Da análise do gráfico anterior (Gráfico 46), verificou-se que o coeficiente de determinação  $R^2$  é 0,83, mostrando uma boa correlação entre os valores de precipitação diária observados e os modelados. Por outro lado, o coeficiente de regressão praticamente igual à unidade, significando que o modelo pode ser validado para a precipitação diária na bacia hidrográfica da Grota do Tapete.

As cartas de precipitação diária distribuída para a Bacia Hidrográfica da Grota do Tapete podem ser criadas para qualquer dia do ano, desde que se disponha do valor deste parâmetro para a estação da Granja.

## 5 MODELAÇÃO HIDROLÓGICA DISTRIBUÍDA

Também se poderá gerar cartas de precipitação diária distribuída para a ilha Terceira, no entanto, com maiores erros associados para áreas exteriores à bacia supracitada.

### 5.11 ESCOAMENTO SUPERFICIAL

Para a concretização dos objetivos deste trabalho, deu-se especial relevância aos parâmetros que interessam ao estabelecimento do balanço hídrico, nomeadamente, à precipitação, à evapotranspiração real, ao escoamento superficial e infiltração profunda.

Nesse sentido, os dados do escoamento superficial foram recolhidos pelas estações agrometeorológicas da Granja e da Ribeirinha. A base de dados deste parâmetro foi estruturada no programa *Excel* do *Microsoft Office*, tendo-se gerado gráficos de escoamento superficial diário (Gráfico 47 e Gráfico 48).

#### 5.11.1 ESCOAMENTO SUPERFICIAL OBSERVADO NAS ESTAÇÕES DA GRANJA E RIBEIRINHA

Neste subcapítulo são apresentados os gráficos do escoamento superficial diário para as estações acima referidas, para o ano de 2008 (Gráfico 47 e Gráfico 48).

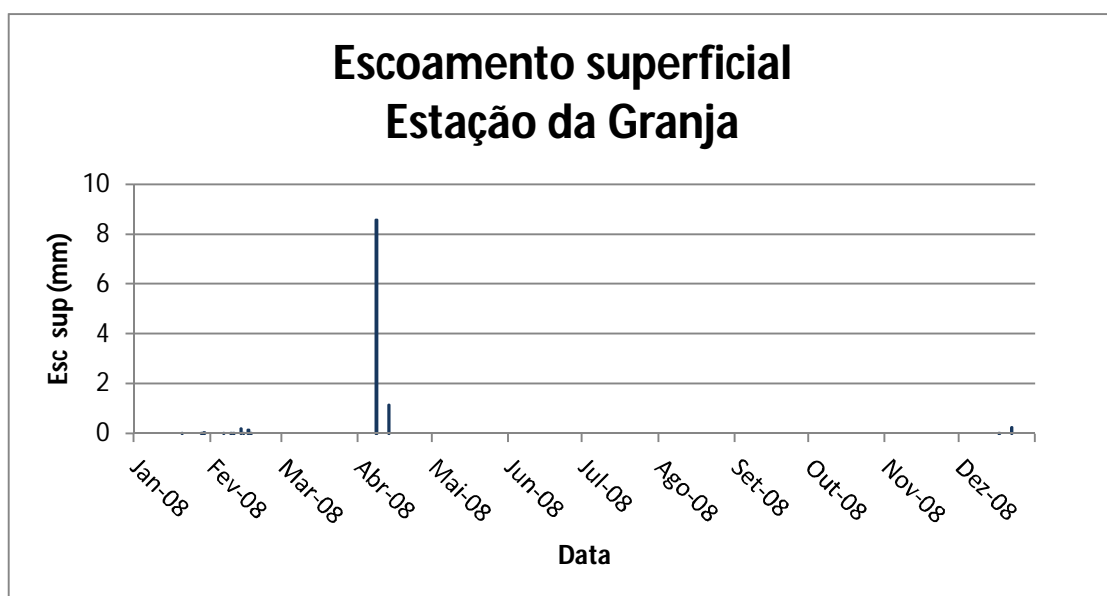


Gráfico 47 Escoamento superficial diário na Estação da Granja, em 2008.

O escoamento superficial registado na estação da Granja variou de forma muito pouco diferenciada ao longo de 2008. Como se verifica no gráfico anterior (Gráfico 47),

foi registado um valor de escoamento superficial de maior intensidade, fora do normal, no dia 08-04-2008. Nos meses de Março e de Maio a Novembro não se registou escoamento superficial.

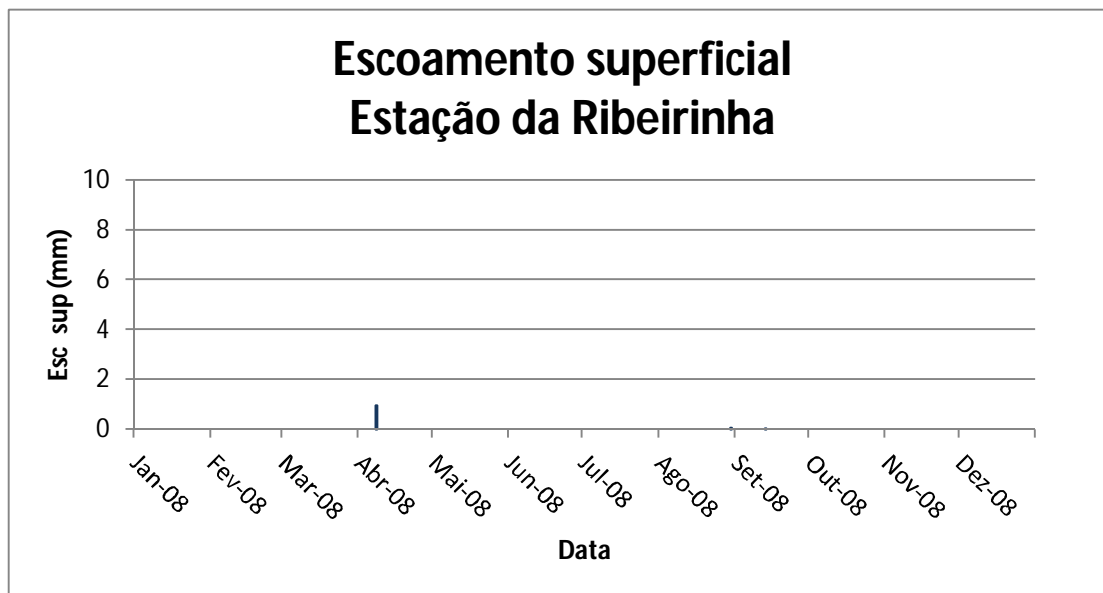


Gráfico 48 Escoamento superficial diário na Estação da Ribeirinha, em 2008.

O escoamento superficial registado na estação da Ribeirinha variou de forma muito pouco diferenciada ao longo de 2008. Como se verifica no gráfico anterior (Gráfico 48), foi registado um valor de escoamento superficial de maior intensidade, fora do normal, no dia 08-04-2008. Só se registou escoamento superficial nos meses de Abril, Agosto e Setembro.

### 5.11.2 MÉTODO DE SIMULAÇÃO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL

No sentido de simular o escoamento superficial utilizou-se a metodologia desenvolvida pelo Serviço de Conservação do Solo do Departamento de Agricultura dos Estado Unidos da América (USDA-SCS), denominado *Soil Conservation Service (SCS)* (SCS, 1972) que assenta fundamentalmente num parâmetro que procura descrever o tipo de solo, utilização e condições à superfície no que diz respeito à potencialidade de gerar escoamento superficial. Este parâmetro designa-se por número do escoamento (CN).

O método de estimação do escoamento superficial através do CN foi desenvolvido a partir de uma grande quantidade de dados, tendo sido utilizado numa ampla gama de

## 5 MODELAÇÃO HIDROLÓGICA DISTRIBUÍDA

modelos de eventos isolados e contínuos, a nível mundial e funciona bem numa grande variedade de coberturas de solos agrícolas (Woodward *et. al.*, 2002).

O valor de CN está compreendido entre zero e 100, correspondendo a zero um solo de condutividade infinita e o valor 100 a um solo totalmente impermeável.

As características que determinam o CN são o uso de solo, o grupo hidrológico de solo e a condição de humidade do solo.

Os solos podem ser classificados de acordo com o grupo hidrológico de solo, denominados com as letras A, B, C e D. O grupo hidrológico de solo é determinado pela classe de drenagem ou pela taxa de infiltração.

Os resultados indicam que o CN não tem variação regional para o mesmo tipo de cobertura de solo agrícola (Price, 1998).

A partir da análise de numerosas bacias foi possível ao SCS tabelar os valores de CN para diversos tipos de solo, suas utilizações e condições à superfície. Estas tabelas encontram-se no Manual de Hidrologia do USDA-SCS (1972) ou em Correia (1984), para quatro tipos distintos de solos:

Tipo A – Solos dando origem a baixo escoamento direto ou que apresenta permeabilidade bastante elevada. Inclui areias profundas com muito pouco limo ou argila;

Tipo B – Solos menos permeáveis que os do tipo A. Incluiu fundamentalmente solos arenosos menos profundos e menos agregados que os do tipo A. No entanto permeabilidade superior à média;

Tipo C – Solos originando escoamento diretos superiores à média e superiores aos originados pelos tipos anteriores. Inclui solos poucos profundos e solos com quantidades apreciáveis de argila, se bem que menos do que os solos do tipo D;

Tipo D – Solos contendo argilas expansivas e alguns solos pouco profundos com sub-horizontes quase impermeáveis que original elevados escoamentos diretos.

Os valores apresentados nas tabelas de CN são relativos a situações antecedentes de humidade do solo médias. Para cálculos em situações antecedentes de humidade

## 5 MODELAÇÃO HIDROLÓGICA DISTRIBUÍDA

secas ou húmidas, estes valores devem ser corrigidos. Esta correção baseia-se na consideração de três situações antecedentes de humidade do solo que se designam por AMC I, AMC II e AMC III:

AMC I – Situação na qual os solos estão secos mas não no ponto de emurchimento<sup>1</sup>. A consideração deste caso é pouco recomendável para estudos de cheia;

AMC II – Situação média em que a humidade do solo deve corresponder aproximadamente à capacidade de campo (quando todos os microporos do solo estão ocupados com água, que corresponde a uma sucção de 33,3 kPa). Esta situação corresponde provavelmente às condições de humidade antecedentes de cheias de pequenas dimensões;

AMC III – Situação em que ocorrem precipitações consideráveis nos cinco dias anteriores e o solo encontra-se quase saturado. Esta é a situação mais propícia à formação de maiores cheias.

A situação antecedente de humidade do solo afeta a capacidade de infiltração e o escoamento superficial.

Na tabela seguinte (Tabela 11), apresenta-se a variabilidade mensal média das situações antecedentes de humidade do solo:

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
AMC III	AMC III	AMC III	AMC III	AMC II	AMC I	AMC I	AMC I	AMC II	AMC III	AMC III	AMC III

Tabela 11 Variabilidade mensal das condições antecedentes de humidade do solo.

As situações antecedentes de humidade do solo de um determinado mês podem variar de ano para ano, consoante as características meteorológicas desse ano.

Na utilização da metodologia proposta pelo SCS (1972) em modelos mais complexos, como por exemplo o EPIC ou o OPUS, o valor de CN para as situações antecedentes de solo seco, CN I, situação de humidade AMC I e solo húmido, CN III, situação de humidade AMC III, podem ser calculados a partir de CN II para as situações médias de humidade AMC II, pelas seguintes equações (Williams *et al*, 1990) (Equação 15 e Equação 16):

<sup>1</sup> O ponto de emurchimento permanente é definido como o volume de água presente no solo quando o potencial mátrico do solo é de -1500 kPa (Lal, 2005).

## 5 MODELAÇÃO HIDROLÓGICA DISTRIBUÍDA

$$CN I = CN II - \frac{20 (100 - CN II)}{100 - CN II + \exp^{2,533-0,0636 (100-CN II)}}$$

Equação 15 Expressão do número de escoamento para a situação antecedente de humidade do solo AMC I.

e

$$CN III = CN II \exp^{0,00636 (100-CN II)}$$

Equação 16 Expressão do número de escoamento para a situação antecedente de humidade do solo AMC III.

Em que:

CN I é o número de escoamento para a situação antecedente de solo seco, AMC I

CN II é o número de escoamento para a situação antecedente de solo de humidade média, AMC II

CN III é o número de escoamento para a situação antecedente de solo húmido, AMC III.

Dado que os valores tabelados de CN II se referem a declives de 5%, para outros declives, é calculado através da seguinte equação (Williams *et al*, 1990) (Equação 17):

$$CN II_s = \frac{1}{3} (CN III - CN II) (1 - 2 \exp^{-13,86 S_0}) + CN II$$

Equação 17 Expressão do número de escoamento para a situação antecedente de humidade do solo AMC II ajustado ao declive.

sendo:

CN II<sub>s</sub> o valor ajustado de CN II para um determinado declive

CN II é número de escoamento para a situação antecedente de solo de humidade média, AMC II

CN III é o número de escoamento para a situação antecedente de solo húmido, AMC III

S<sub>0</sub> é o declive da parcela [m m<sup>-1</sup>].

## 5 MODELAÇÃO HIDROLÓGICA DISTRIBUÍDA

Um conceito fundamental neste método é a quantidade que pode ser retida pelo solo,  $S_a$  (mm) e que não contribui para o escoamento superficial. É estimada a partir do CN, pela expressão (Equação 18):

$$S_a = 254 \left( \frac{100}{CN} - 1 \right)$$

Equação 18 Expressão de  $S_a$ , quantidade de água que pode ser retida pelo solo e que não contribui para o escoamento superficial.

Em que:

$S_a$  é a quantidade de água que pode ser retida pelo solo e que não contribui para o escoamento superficial [mm]

CN é o número de escoamento.

O escoamento superficial não se forma logo após o início da chuvada, mas sim após a saturação da camada superficial do solo e satisfeitas as perdas por interceção e retenção. A quantidade total de precipitação até ao início de formação de escoamento superficial designa-se por perdas iniciais,  $I_a$ .

O valor  $I_a$  (mm) aumenta com o valor de  $S_a$  de modo que em solo impermeáveis as perdas iniciais sejam mínimas e em solos de elevada permeabilidade os valores de  $I_a$  sejam elevados. A relação proposta pela SCS é dada pela expressão seguinte (Equação 19):

## 5 MODELAÇÃO HIDROLÓGICA DISTRIBUÍDA

$$I_a = 0,2 S_a$$

Equação 19 Expressão de  $I_a$ .

Em que:

$I_a$  representa as perdas iniciais, ou seja, a quantidade total de precipitação até ao início de formação de escoamento superficial [mm]

$S_a$  é a quantidade de água que pode ser retida pelo solo e que não contribui para o escoamento superficial [mm].

Após serem preenchidas as perdas iniciais, a precipitação eficaz,  $P_n$ , responsável pelo escoamento superficial, pode ser calculada pela seguinte expressão (SCS, 1972) (Equação 20):

$$P_n = \frac{(P - I_a)^2}{P + S_a - I_a}, \quad P > 0,2 S_a$$

$$P_n = 0, \quad P \leq 0,2 S_a$$

Equação 20 Equação da precipitação eficaz,  $P_n$ , responsável pelo escoamento superficial.

Em que:

$P_n$  é a precipitação eficaz, equivalente ao escoamento superficial [mm]

$P$  é o total da precipitação [mm]

$I_a$  representa as perdas iniciais, ou seja, a quantidade total de precipitação até ao início de formação de escoamento superficial [mm]

$S_a$  é a quantidade de água que pode ser retida pelo solo e que não contribui para o escoamento superficial [mm].

Esta expressão foi originalmente utilizada para calcular a precipitação eficaz associada à precipitação total ocorrida durante uma chuvada. Neste caso, os valores de  $P$  e  $P_n$  representam, respetivamente, as precipitações total e eficaz associadas a essa chuvada, independentemente da distribuição temporal da precipitação. A equação acima mais tarde foi também utilizada para calcular os volumes totais de precipitação eficaz ocorridos em períodos mais longos (um ano).

### 5.11.3 CALIBRAÇÃO DO MODELO DE SIMULAÇÃO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL DIÁRIO

Os valores de CN para as situações antecedentes de humidade do solo AMC I e AMC III, podem ser calculados a partir dos valores de CN para a situação antecedente de humidade do solo AMC II pelas equações apresentadas em Williams *et al*, 1990.

Os valores de CN para a situação antecedente de humidade do solo AMC II, apresentados em *Soil Conservation Service* (1972), para cada ocupação de solo, foram ajustados para a bacia hidrográfica da Grota do Tapete, para todos os grupos hidrológicos de solos (A, B, C e D).

Para estimar os CN's do uso de solo "solo nú", para o grupo hidrológico de solos B e para todas as situações antecedentes de humidade do solo, foram utilizados os valores de CN de "solo nú" da Granja, derivados dos dados disponíveis em Fontes (1999).

Para estimar os CN's do uso de solo "pastagem", para o grupo hidrológico de solo B e para todas as situações antecedentes de humidade do solo, foram utilizados os valores médios de CN de "pastagem" da Granja e Ribeirinha, derivados dos dados disponíveis em Fontes (1999).

Para os usos de solo "uso urbano" e "estradas", considerou-se que CN, para um determinado grupo hidrológico de solo, é constante em qualquer situação antecedente de humidade do solo.

Para cada uso de solo, a partir dos valores de CN do grupo hidrológico de solo B, para as situações antecedentes de humidade do solo AMC I e AMC III, através das equações abaixo apresentadas (Equação 21), calculou-se os valores de CN para os grupos hidrológicos de solo A, C e D.

A determinação de CN's entre os diferentes grupos hidrológicos de solos foi generalizada através de uma relação gráfica desenvolvida por Victor Mockus chamada "*Curve Number Aligner*", sendo a representação das seguintes equações (Rallison, 1978 e Enderlin e Markowitz, 1962):

## 5 MODELAÇÃO HIDROLÓGICA DISTRIBUÍDA

$$\text{CN (A)} = -60,8 + 1,6083 \text{ CN (B)}$$

$$\text{CN (B)} = \text{CN (B)}$$

$$\text{CN (C)} = 34,0 + 0,6600 \text{ CN (B)}$$

$$\text{CN (D)} = 47,2 + 0,5283 \text{ CN (B)}$$

Equação 21 Expressões dos números de escoamento para solos dos grupos hidrológicos A, C e D, em função do número de escoamento de solos do grupo B.

Em que:

CN (A) é o número de escoamento de um solo pertencente ao grupo hidrológico A

CN (B) é o número de escoamento de um solo pertencente ao grupo hidrológico B

CN (C) é o número de escoamento de um solo pertencente ao grupo hidrológico C

CN (D) é o número de escoamento de um solo pertencente ao grupo hidrológico D

A seguinte tabela (Tabela 12) apresenta os valores de CN calibrados para a zona de estudo, para cada ocupação de solo da bacia hidrográfica da Grota do Tapete, para todos os grupos hidrológicos de solo e para todas as situações antecedentes de humidade do solo:

## 5 MODELAÇÃO HIDROLÓGICA DISTRIBUÍDA

OCUPAÇÃO DE SOLO	AMC I				AMC II				AMC III			
	CN_A	CN_B	CN_C	CN_D	CN_A	CN_B	CN_C	CN_D	CN_A	CN_B	CN_C	CN_D
Pastagem	0	1	34	48	25	45	65	75	43	65	77	81
Solo nú	9	44	63	70	70	75	80	85	99	100	100	100
Milho	0	15	44	55	28	55	70	76	59	74	83	87
Pastagem nova	0	30	54	63	30	50	70	80	52	70	80	84
Uso urbano	77	85	90	92	77	85	90	92	77	85	90	92
Estradas	83	89	92	93	83	89	92	93	83	89	92	93
Lagoas	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Tabela 12 Números de escoamento calibrados para a zona de estudo, para cada ocupação de solo, situação antecedente de humidade do solo (AMC I, AMC II, AMC III) e grupo hidrológico de solo (A, B, C e D).

Os números de escoamento da tabela anterior (Tabela 12) foram associados às cartas de ocupação do solo mensais da bacia hidrográfica da Grota do Tapete, criadas no decurso deste trabalho no *software* ArcGIS, pelo tipo de ocupação do solo e pelo grupo hidrológico de solo.

Foram criadas *rasters* de CN I, CN II e CN III distribuídos para a bacia hidrográfica da Grota do Tapete, para cada configuração mensal da ocupação de solo nesta bacia. Posteriormente foram criados *rasters* mensais de CN II<sub>s</sub> distribuídos para a bacia, ou seja, dos valores ajustados de CN II para os declives em toda a bacia, com recurso ao *raster* de declive criado no decurso deste trabalho.

Com base nos *rasters* mensais de CN II<sub>s</sub>, foram criados *rasters* mensais de CN I<sub>s</sub> e CN III<sub>s</sub>.

Desta forma, para qualquer configuração mensal de ocupação de solo definida com recurso ao ortofoto, existem *rasters* de CN I<sub>s</sub>, CN II<sub>s</sub> e CN III<sub>s</sub> distribuídos para a bacia, fazendo com que a variabilidade mensal de ocupação de solo seja introduzida no modelo, bem como o parâmetro grupo hidrológico de solo e a variabilidade da situação antecedente de humidade do solo, pois é possível selecionar qual a situação mais adequada a determinado dia ou mês de um ano específico, através da seleção do *raster* de número de escoamento ajustado ao declive adequado (CN I<sub>s</sub>, CN II<sub>s</sub> ou CN III<sub>s</sub>) (Figura 51, Figura 52, Figura 53 e Figura 54).

A equação de  $I_a$  foi calibrada com base nos valores de  $S_a$  e  $I_a$  de pastagem permanente da Granja e Ribeirinha, disponíveis em Fontes (1999). Nesse sentido,

## 5 MODELAÇÃO HIDROLÓGICA DISTRIBUÍDA

apresentam-se os quocientes  $B$  (Tabela 13 e Tabela 14), dados pela expressão seguinte (Equação 22):

$$B = \frac{I_a}{S_a}$$

Equação 22 Expressão do quociente  $B$ .

Em que:

$B$  é o quociente entre  $I_a$  e  $S_a$

$I_a$  representa as perdas iniciais, ou seja, a quantidade total de precipitação até ao início de formação de escoamento superficial [mm]

$S_a$  é a quantidade de água que pode ser retida pelo solo e que não contribui para o escoamento superficial [mm].

## 5 MODELAÇÃO HIDROLÓGICA DISTRIBUÍDA

Valores das perdas iniciais, $I_a$ , da quantidade de água retida no solo, $S_a$ , das chuvadas que originaram escoamento superficial de Janeiro a Dezembro de 1997 para <b>pastagem permanente</b> na bacia da <b>Ribeirinha</b> .			
$I_a$ (mm)	$S_a$ (mm)	$B = I_a / S_a$	$B_{\text{médio}}$
13,990	345,780	0,040	0,006
5,510	1011,370	0,005	
16,120	1106,280	0,015	
7,960	1929,750	0,004	
23,360	2026,040	0,012	
10,670	2197,630	0,005	
12,650	2722,360	0,005	
16,320	3252,510	0,005	
6,600	3615,880	0,002	
10,670	4000,740	0,003	
10,000	4042,770	0,002	
11,220	8552,670	0,001	
10,000	10529,790	0,001	
5,510	11969,550	0,000	
45,710	12737,760	0,004	
9,380	17084,750	0,001	
24,280	44195,840	0,001	

Tabela 13 Valores das perdas iniciais,  $I_a$ , da quantidade de água retida no solo,  $S_a$ , das chuvadas que originaram escoamento superficial de Janeiro a Dezembro de 1997 para pastagem permanente na bacia da Ribeirinha (Fontes, 1999).

## 5 MODELAÇÃO HIDROLÓGICA DISTRIBUÍDA

Valores das perdas iniciais, $I_a$ , da quantidade de água retida no solo, $S_a$ , das chuvadas que originaram escoamento superficial de Janeiro a Maio de 1997 e Junho a Dezembro de 1998 para <b>pastagem permanente</b> na bacia da <b>Granja</b> .			
$I_a$ (mm)	$S_a$ (mm)	$B = I_a / S_a$	$B_{\text{médio}}$
13,210	36,550	0,361	0,038
5,840	123,840	0,047	
12,640	202,260	0,062	
7,960	254,530	0,031	
6,350	297,190	0,021	
7,110	392,950	0,018	
12,950	446,770	0,029	
2,030	490,880	0,004	
13,210	522,890	0,025	
11,430	1259,950	0,009	
2,800	1346,880	0,002	
12,320	1785,630	0,007	
12,700	1967,780	0,006	
6,600	2192,910	0,003	
47,500	2862,670	0,017	
9,910	4673,480	0,002	
9,910	4972,880	0,002	
7,810	7894,320	0,001	
11,430	8698,230	0,001	
15,760	31689,280	0,000	

Tabela 14 Valores das perdas iniciais,  $I_a$ , da quantidade de água retida no solo,  $S_a$ , das chuvadas que originaram escoamento superficial de Janeiro a Maio de 1997 e Junho a Dezembro de 1998 para pastagem permanente na bacia da Granja (Fontes, 1999).

A média dos quocientes  $B_{\text{médio}}$  calculados é 0,02. Com esta média, calibrou-se a equação de  $I_a$  proposta pelo SCS (1972) para a área de estudo, obtendo-se a equação seguinte (Equação 23):

## 5 MODELAÇÃO HIDROLÓGICA DISTRIBUÍDA

$$I_a = 0,02 S_a$$

Equação 23 Expressão de  $I_a$  calibrada para a zona de estudo.

Em que:

$I_a$  representa as perdas iniciais, ou seja, a quantidade total de precipitação até ao início de formação de escoamento superficial [mm]

$S_a$  é a quantidade de água que pode ser retida pelo solo e que não contribui para o escoamento superficial [mm].

Admitindo as hipóteses expressas pelas equações de  $S_a$  e de  $I_a$  acima referidas, a equação de  $P_n$  calibrada pode ser expressa em função de  $S_a$  (Equação 24):

$$P_n = \frac{(P - 0,02 S_a)^2}{P + 0,98 S_a}, \quad P > 0,02 S_a$$

$$P_n = 0, \quad P \leq 0,02 S_a$$

Equação 24 Equação da precipitação eficaz, equivalente ao escoamento superficial, calibrada para a zona de estudo.

Em que:

$P_n$  é a precipitação eficaz, equivalente ao escoamento superficial [mm]

$P$  é o total da precipitação [mm]

$S_a$  é a quantidade de água que pode ser retida pelo solo e que não contribui para o escoamento superficial [mm].

No decurso deste trabalho foram criados *rasters* de  $S_a$  diária distribuída para a bacia hidrográfica da Grotta do Tapete, para cada mês e para cada situação de humidade antecedente do solo (AMC I, AMC II e AMC III), utilizando os *rasters* mensais de número de escoamento ajustado ao declive (CN I<sub>s</sub>, CN II<sub>s</sub> ou CN III<sub>s</sub>) (Figura 51, Figura 52, Figura 53e Figura 54) e a equação deste parâmetro (Equação 24).

Dado que a equação de simulação do escoamento superficial calibrada (Equação 24) é condicional, no sentido de seleccionar a expressão adequada a aplicar em cada área da

## 5 MODELAÇÃO HIDROLÓGICA DISTRIBUÍDA

bacia, para um dia específico, foram criados *rasters* para cada situação de humidade antecedente do solo, que representam a seguinte expressão (Equação 25):

$$\frac{P}{S_a}$$

Equação 25 Quociente P/S<sub>a</sub>.

Em que:

*P* representa o *raster* de precipitação diária distribuída para a bacia hidrográfica [mm]

*S<sub>a</sub>* representa o *raster* de *S<sub>a</sub>* diária distribuída para a bacia hidrográfica [mm].

Com base nos *rasters* criados com o método acima descrito, foram identificadas as áreas da bacia onde aquele quociente (Equação 25) é superior ao valor 0,02 e onde é igual ou inferior a 0,02, definindo desta forma, em que áreas aplicar cada uma das expressões do escoamento superficial (Equação 26):

$$\frac{P}{S_a} > 0,02 \rightarrow P_n = \frac{(P - 0,02 S_a)^2}{P + 0,98 S_a}$$

$$\frac{P}{S_a} \leq 0,02 \rightarrow P_n = 0$$

Equação 26 Equação da precipitação eficaz, equivalente ao escoamento superficial, calibrada para a zona de estudo.

Em que:

*P* representa o *raster* de precipitação diária distribuída para a bacia hidrográfica [mm]

*S<sub>a</sub>* representa o *raster* de *S<sub>a</sub>* diária distribuída para a bacia hidrográfica [mm].

*P<sub>n</sub>* é a precipitação eficaz distribuída para a bacia hidrográfica, equivalente ao escoamento superficial distribuído [mm].

### 5.11.4 VALIDAÇÃO DO MODELO CALBRADO DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL DIÁRIO

No sentido de validar a equação calibrada, foram criadas cartas de escoamento superficial diário distribuído para a bacia hidrográfica da Grota do Tapete, em formato

## 5 MODELAÇÃO HIDROLÓGICA DISTRIBUÍDA

*raster*, através das expressões calibradas deste parâmetro (Equação 26), utilizando os *rasters* de precipitação diária distribuída e os *rasters* de  $S_a$  diária distribuída para a bacia hidrográfica, para cada uma das situações antecedentes de humidade do solo, utilizando o *software* ArcGIS e a extensão *Spatial Analyst*.

No sentido de concretizar esta metodologia acima descrita, seleccionou-se cinco dias para a criação de cartas de escoamento superficial diário distribuído para a bacia hidrográfica, para duas situações de humidade do solo, os quais foram:

- 13 de Fevereiro de 2008 - situações de humidade do solo AMC II e AMCIII;
- 16 de Fevereiro de 2008 - situações de humidade do solo AMC II e AMCIII;
- 19 de Junho de 2008 - situações de humidade do solo AMC I e AMCIII;
- 10 de Julho de 2008 - situações de humidade do solo AMC I e AMCIII;
- 26 de Dezembro de 2008 - situações de humidade do solo AMC II e AMCIII.

Após a criação das cartas acima referidas, foram comparados os valores de escoamento superficial diário produzidos pelo modelo calibrado (Equação 26) com os valores observados na estação da Granja, através da tabela (Tabela 15) e dos gráficos seguintes (Gráfico 49,

Gráfico 50, Gráfico 51, Gráfico 52 e Gráfico 53):

5 MODELAÇÃO HIDROLÓGICA DISTRIBUÍDA

Data	Escoamento superficial diário (mm)						
	Observado na estação da Granja	Modelo calibrado - AMC I	Diferença entre o modelo calibrado e o observado	Modelo calibrado - AMC II	Diferença entre o modelo calibrado e o observado	Modelo calibrado - AMC III	Diferença entre o modelo calibrado e o observado
13-02-2008	0,20			0,12	-0,08	0,66	0,46
16-02-2008	0,15			0,11	-0,04	0,60	0,45
19-06-2008	0,00	0,00	0,00	0,04	0,04		
10-07-2008	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02		
26-12-2008	0,00			0,00	0,00	0,05	0,05

Tabela 15 Comparação de valores de escoamento superficial diário produzidos pelo modelo calibrado, com os valores observados na estação da Granja.

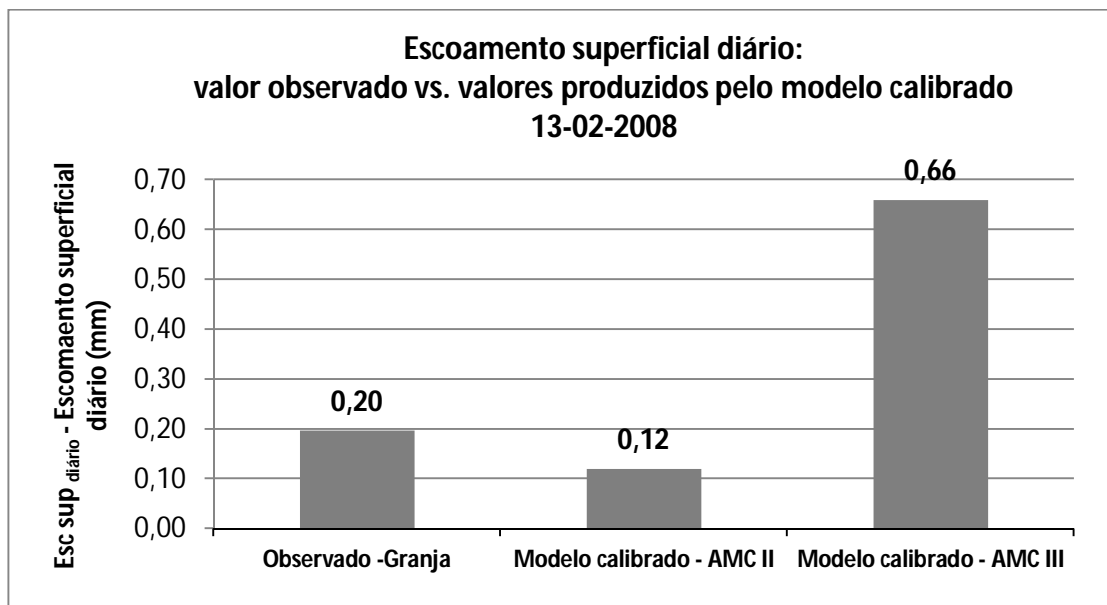


Gráfico 49 Dia 13-02-2008: escoamento superficial diário observado na estação da Granja vs. valores de escoamento superficial diário produzidos pelo modelo calibrado, para as situações de humidade do solo AMC II e AMC III.

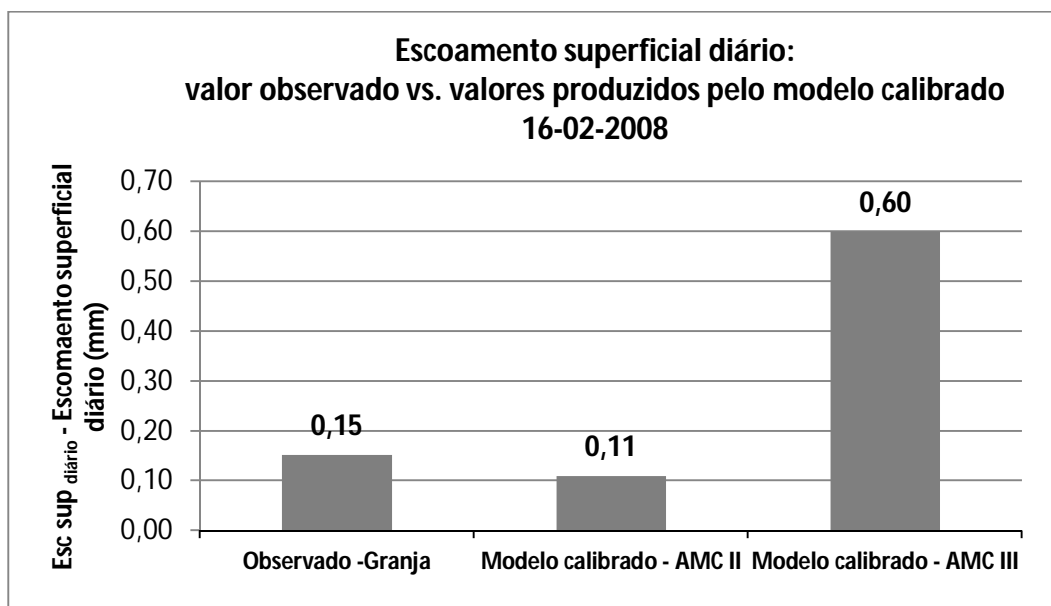


Gráfico 50 Dia 16-02-2008: escoamento superficial diário observado na estação da Granja vs. valores de escoamento superficial diário produzidos pelo modelo calibrado, para as situações de humidade do solo AMC II e AMC III.

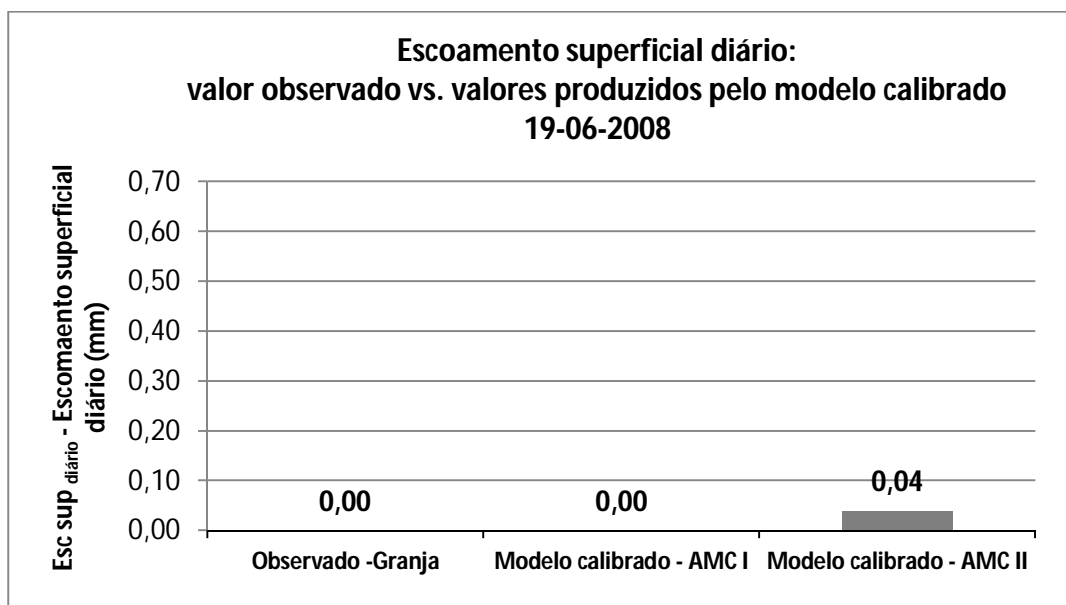


Gráfico 51 Dia 19-06-2008: escoamento superficial diário observado na estação da Granja vs. valores de escoamento superficial diário produzidos pelo modelo calibrado, para as situações de humidade do solo AMC I e AMC II.

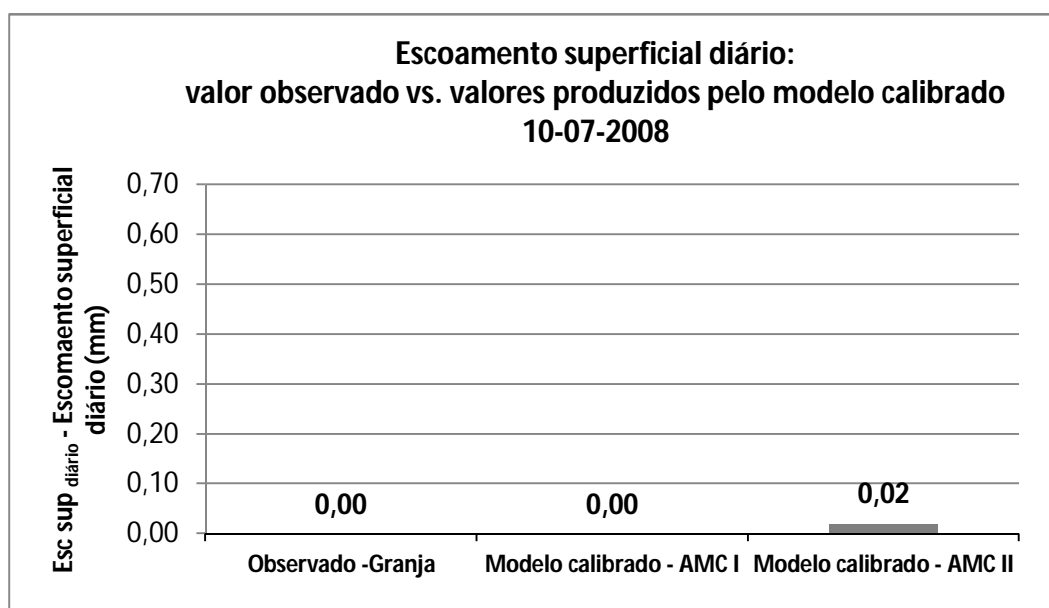


Gráfico 52 Dia 10-07-2008: escoamento superficial diário observado na estação da Granja vs. valores de escoamento superficial diário produzidos pelo modelo calibrado, para as situações de humidade do solo AMC I e AMC II.

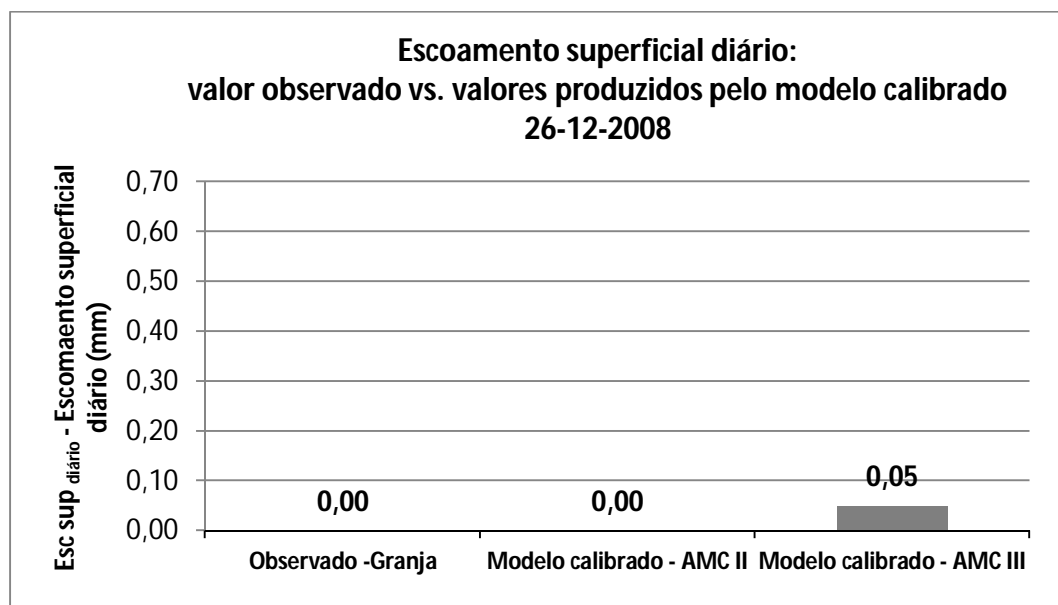


Gráfico 53 Dia 26-12-2008: escoamento superficial diário observado na estação da Granja vs. valores de escoamento superficial diário produzidos pelo modelo calibrado, para as situações de umidade do solo AMC II e AMC III.

Da análise da tabela (Tabela 15) e dos gráficos (Gráfico 49, Gráfico 50, Gráfico 51, Gráfico 52 e Gráfico 53) anteriores, verificou-se que a situação antecedente de umidade do solo para a qual o modelo calibrado gera valores de escoamento superficial diários mais aproximadas à realidade é:

- Nos dias 13-02-2008, 16-02-2008 e 26-12-2008, a AMC II;
- Nos dias 19-06-2008 e 10-07-2008, a AMC I.

Embora fosse espectável, de acordo com a variabilidade mensal média das situações antecedente de umidade do solo (Tabela 11) que, nos meses de Fevereiro e Dezembro, a situação antecedente de umidade do solo fosse AMC III, quando comparados os valores de escoamento superficial diário observados na estação da Granja com os gerados pelo modelo calibrado para as situações antecedente de umidade do solo AMC II e AMC III, verifica-se que o modelo indica que a situação antecedente de umidade do solo naqueles dois meses foi a AMC II.

A possibilidade de variação dos parâmetros climáticas, de ano para ano, pode fazer com que as situações antecedente de umidade no solo, para o mesmo mês, variem também anualmente. Esta variabilidade foi introduzida no modelo, dado que foram

## 5 MODELAÇÃO HIDROLÓGICA DISTRIBUÍDA

geradas cartas de números de escoamento ajustados para o declive para todas as situações antecedentes de humidade no solo e para todos os meses, para a bacia.

No gráfico seguinte (Gráfico 54) são comparados os valores de escoamento superficial diário observados na estação da Granja com os gerados pelo modelo calibrado (Equação 26) (Figura 55, Figura 56, Figura 57, Figura 58 e Figura 59), para as situações antecedentes de humidade do solo mais aproximadas à realidade, tendo sido definida a passagem da linha de tendência pela origem:

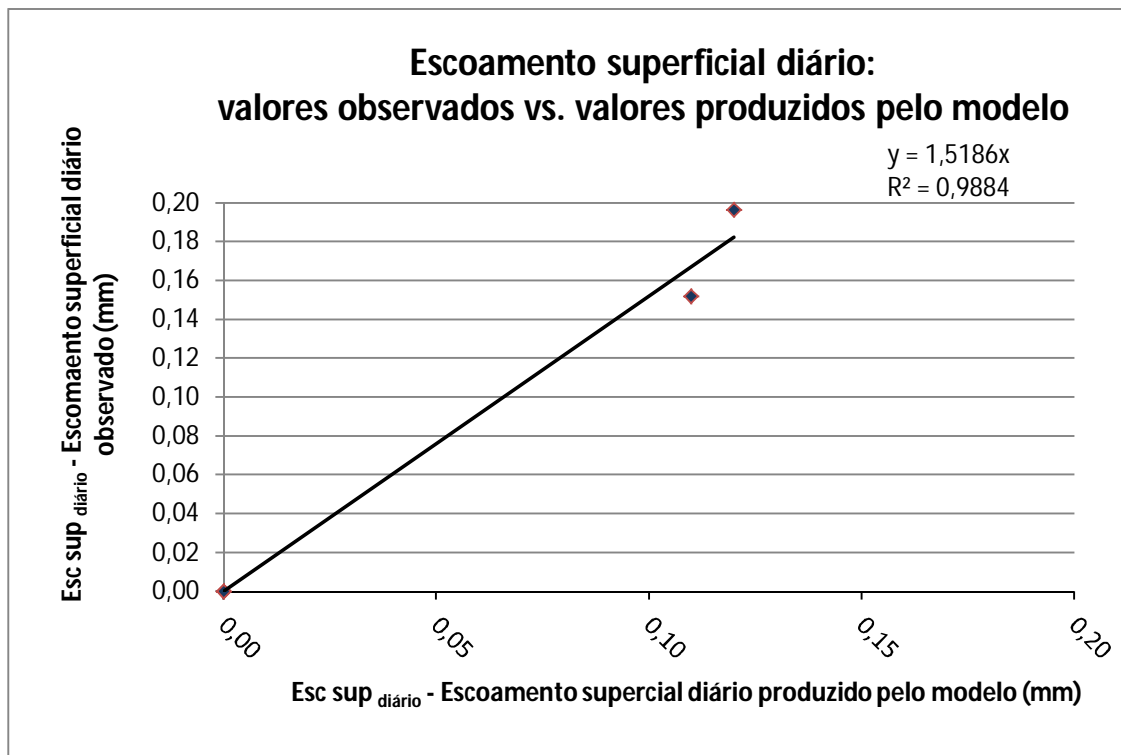


Gráfico 54 Escoamento superficial diário: valores observados vs. valores produzidos pelo modelo calibrado para as condições de humidade antecedentes do solo mais aproximadas à realidade.

Da análise do gráfico anterior (Gráfico 54), verificou-se que o coeficiente de determinação  $R^2$  é 0,99, mostrando uma boa correlação entre os valores de escoamento superficial diário observados e os gerados pelo modelo calibrado, para as situações de humidade do solo mais aproximadas à realidade, significando que o modelo pode ser validado para escoamento superficial diário na Bacia Hidrográfica da Grota do Tapete.

As cartas de escoamento superficial diário distribuído para a Bacia Hidrográfica da Grota do Tapete podem ser criadas para qualquer dia do ano e para qualquer situação

de humidade do solo, desde que se disponha do valor da precipitação diária para a estação da Granja.

### 5.12 INFILTRAÇÃO PROFUNDA

No decurso deste trabalho foram criadas cartas de infiltração profunda diária distribuída para a bacia hidrográfica da Grota do Tapete, através da equação do balanço hídrico (Equação 27), utilizando as cartas de precipitação diária distribuída, de evapotranspiração real diária distribuída e de escoamento superficial diário distribuído para a bacia hidrográfica da Grota do Tapete, utilizando o *software* ArcGIS e a extensão *Spatial Analyst*.

A equação da infiltração profunda é a seguinte:

$$Inf\ prof = P - ET_R - Esc\ Sup$$

Equação 27 Balanço hídrico em função da infiltração profunda.

Em que:

*Inf prof* é a infiltração profunda [mm]

*P* é a precipitação [mm]

*Esc Sup* é o escoamento superficial [mm]

Seleccionou-se cinco dias para a criação de cartas de infiltração profunda diária distribuída, os quais foram:

- 13 de Fevereiro de 2008 (Figura 60);
- 16 de Fevereiro de 2008 (Figura 61);
- 19 de Junho de 2008 (Figura 62);
- 10 de Julho de 2008 (Figura 63);
- 26 de Dezembro de 2008 (Figura 64).

Após a criação das cartas acima referidas, foram comparados os valores de infiltração profunda diária produzidos pelo modelo com os valores calculados com base

## 5 MODELAÇÃO HIDROLÓGICA DISTRIBUÍDA

nos parâmetros observados e na evapotranspiração de referência simulada, na estação da Granja, através da tabela seguinte (Tabela 16):

<b>Infiltração profunda (mm dia<sup>-1</sup>)</b>			
<b>Data</b>	<b>Calculada com base nos parâmetros observados e ET<sub>0</sub> simulada - Granja</b>	<b>Calculada com base nos valores obtidos através do modelo - Granja</b>	<b>Diferença entre modelo e observado/simulado</b>
<b>13-02-2008</b>	11,85	11,62	-0,23
<b>16-02-2008</b>	11,53	11,47	-0,06
<b>19-06-2008</b>	6,79	7,99	1,20
<b>10-07-2008</b>	-1,62	2,38	4,00
<b>26-12-2008</b>	1,68	4,88	3,20

Tabela 16 Comparação de valores de infiltração profunda diária produzidos pelo modelo e os calculados com base nos parâmetros observados e na evapotranspiração de referência simulada, na estação da Granja.

No gráfico seguinte (Gráfico 55) são comparados os valores de infiltração profunda diária produzidos pelo modelo e os calculados com base nos parâmetros observados e na evapotranspiração de referência simulada, na estação da Granja, tendo sido definida a passagem da linha de tendência pela origem:

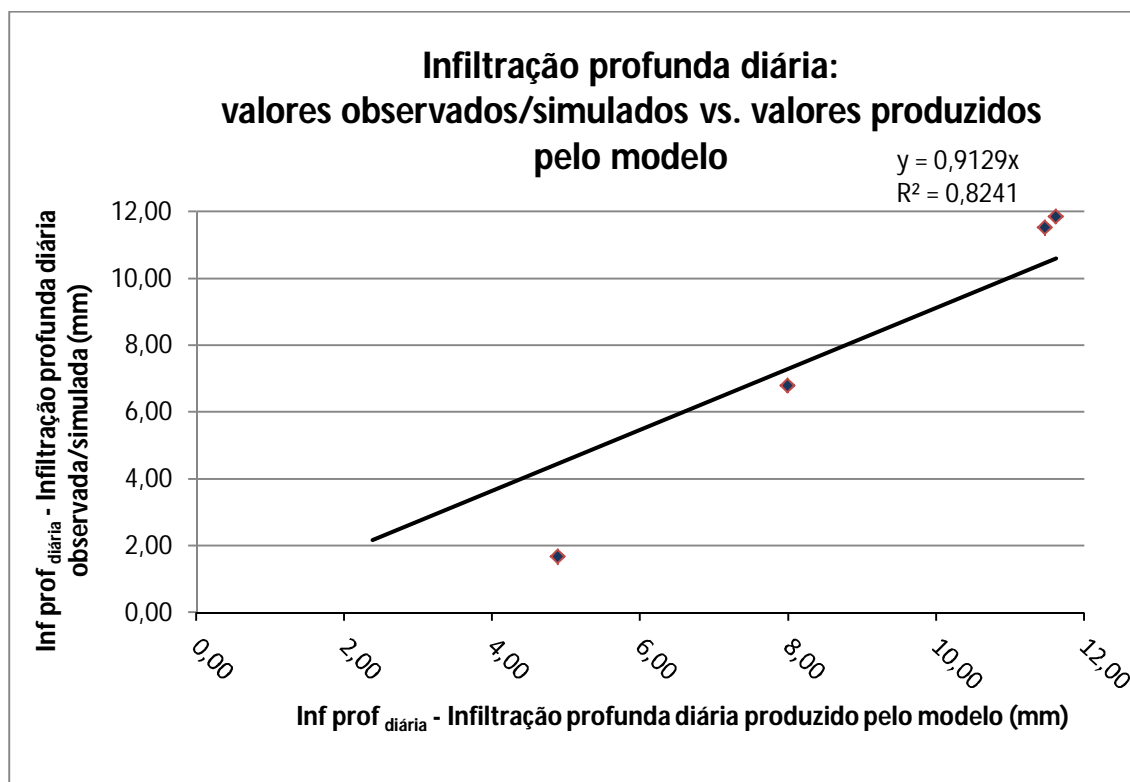


Gráfico 55 Valores de infiltração profunda diária produzidos pelo modelo e os calculados com base nos parâmetros observados e na evapotranspiração de referência simulada, na estação da Granja.

Da análise do gráfico anterior (Gráfico 55), verificou-se que o coeficiente de determinação  $R^2$  é 0,82, mostrando uma boa correlação entre os valores de infiltração profunda diária produzidos pelo modelo e os calculados com base nos parâmetros observados e na evapotranspiração de referência simulada. Por outro lado, o coeficiente de regressão é quase igual à unidade, significando que o modelo pode ser validado para a infiltração profunda diária na Bacia Hidrográfica da Grota do Tapete.

As cartas de infiltração profunda diária distribuída para a Bacia Hidrográfica da Grota do Tapete podem ser criadas para qualquer dia do ano, desde que se disponha do valor da precipitação diária e da evapotranspiração de referência diária para a estação da Granja.

### 5.13 GEOLOGIA, GEOMORFOLOGIA E TECTÓNICA

No decurso deste trabalho foi criada a carta geológica para a bacia hidrográfica da Grota do Tapete (Figura 65) com base na carta geológica da ilha Terceira de Loyd e Collis (1981), utilizando o *software* ArcGIS e a extensão *Spatial Analyst*.

Com base na carta geológica da bacia hidrográfica supracitada, verificou-se que esta está situada na unidade geomorfológica do estratovulcão dos Cinco Picos, sendo que o substrato geológico da zona intercetada por esta bacia é constituído pelas seguintes formações:

- (1) Formação traquibasáltica dos Cinco Picos;
- (2) Formação basáltica inferior;
- (3) Formação basáltica superior do Algar do Carvão.

A formação traquibasáltica dos Cinco Picos, a mais antiga da ilha, forma o substrato litológico de todo o estratovulcão dos Cinco Picos. É formada por escoadas lávicas intermédias, que surgem normalmente alternadas por níveis piroclásticos pouco desenvolvidos. Não são conhecidos afloramentos desta formação na zona de estudo, inferindo-se contudo a sua presença a partir da geologia circundante (afloramentos dispostos ao longo da escarpa de falha da Serra da Ribeirinha).

Os basaltos inferiores são constituídos por escoadas lávicas e depósitos piroclásticos de natureza basáltica, extruídos a partir de centros emissores dispostos no interior da caldeira dos Cinco Picos. Dispõe-se sobre as formações traquibasálticas dos Cinco Picos e, na zona em estudo, estão cobertos pela formação basáltica superior do Algar do Carvão. Afloram em pequenas manchas nas zonas de pastagem circundantes.

Existe uma relação muito estreita entre as características geológicas e pedológicas insulares e o movimento superficial da água no terreno (Fontes, 1999), surgindo geralmente escoamentos mais elevados em zonas constituídas por depósitos piroclásticos alterados ou andossolos ferruginosos com horizontes plácicos.

## 5 MODELAÇÃO HIDROLÓGICA DISTRIBUÍDA

A geomorfologia, ao ditar a energia potencial do sistema, constitui um dos principais fatores condicionantes deste processo, ocorrendo os escoamentos mais elevados nas zonas de maior declive (Rodrigues, 1993).

A zona de estudo localiza-se ao longo do *Rift* da Terceira, um alinhamento vulcano-tectónico de expressão regional, de tendência direcional 145° NNW-SSE. Esta estrutura engloba na parte subaérea da ilha o estratovulcão dos Cinco Picos e a caldeira do mesmo nome.

A SW da zona em estudo localiza-se um dos limites da Caldeira dos Cinco Picos – a falha da Serra da Ribeirinha – que apresenta uma atitude linear de orientação 145° NNW-SSE.

### 5.14 RECARGA AQUÍFERA

Existem efeitos de *lag* inerentes aos processos hidrológicos, nomeadamente, entre a infiltração profunda e a recarga aquífera, que depende dos seguintes fatores:

- Quantidade de água disponível;
- Tipo e grau de saturação do solo;
- Tempo de percolação vertical até ao aquífero, o qual é condicionado pelos estratos geológicos que atravessa, pelas falhas geológicas que eventualmente estejam presentes, pelo tipo de preenchimento destas falhas;
- Profundidade do nível freático, o qual é condicionado pela geologia e pela disponibilidade de água.

Desta forma, não é possível estimar a recarga aquífera diária, relativamente à infiltração profunda.

## 6 RESULTADOS

---

Neste capítulo apresentam-se os resultados obtidos neste trabalho, incluindo as cartas criadas pela modelação hidrológica distribuída em SIG.

Através da realização deste trabalho, concretizaram-se os seguintes objectivos:

- A geração de uma carta de bacias hidrológicas para a ilha Terceira com resolução espacial de 25 x 25 m<sup>2</sup>;
- A geração de um modelo hidrológico distribuído calibrado e validado MHIDRIV de simulação dos parâmetros envolvidos no balanço hidrológico de bacias hidrográficas em regiões insulares vulcânicas;
- A geração das cartas de precipitação, evapotranspiração de referência, evapotranspiração real, escoamento superficial e infiltração profunda diárias distribuídas para a bacia hidrológica da Grota do Tapete;
- A avaliação da disponibilidade hídrica gerada pela bacia referida, a qual representa a recarga potencial dos aquíferos afetos a esta.

Pretendeu-se que o desenvolvimento deste trabalho tivesse como resultados:

- Um considerável aumento do conhecimento do sistema hidrológico da bacia hidrográfica da Grota do Tapete;
- A utilização do modelo MHIDRIV para ser aplicado noutros trabalhos (a) testar diferentes práticas de gestão, de forma a melhor utilizar os recursos e melhorar a qualidade da água e/ou aumentar a sua quantidade e (b) estimar os efeitos hidrológicos resultantes de mudanças de características físicas de uma determinada bacia hidrográfica.

### 6.1 MODELO DIGITAL DE TERRENO

Neste subcapítulo são apresentados os MDT's gerados para a Ilha Terceira (Figura 14) e para a bacia hidrográfica da Grota do Tapete (Figura 15), intituladas cartas de relevo, com células com dimensão de 25 x 25 m<sup>2</sup>.

## 6 RESULTADOS

Embora se tenha gerado, no decurso deste trabalho, MDT's em formato *raster* com células de várias dimensões, o *raster* com células com dimensão de 25 x 25 m<sup>2</sup> foi o seleccionado. Tal escolha se deve ao facto de haver maior compatibilidade entre o ponto de descarga da linha de acumulação de fluxo associada à Grota do Tapete e do traçado desta, identificados na carta de linhas de acumulação de fluxo para a Ilha Terceira (Figura 25), gerada no decurso deste trabalho com base no MDT com células com dimensão de 25 x 25 m<sup>2</sup> (Figura 14), com a foz real desta linha de água e respetivo traçado (Figura 28).

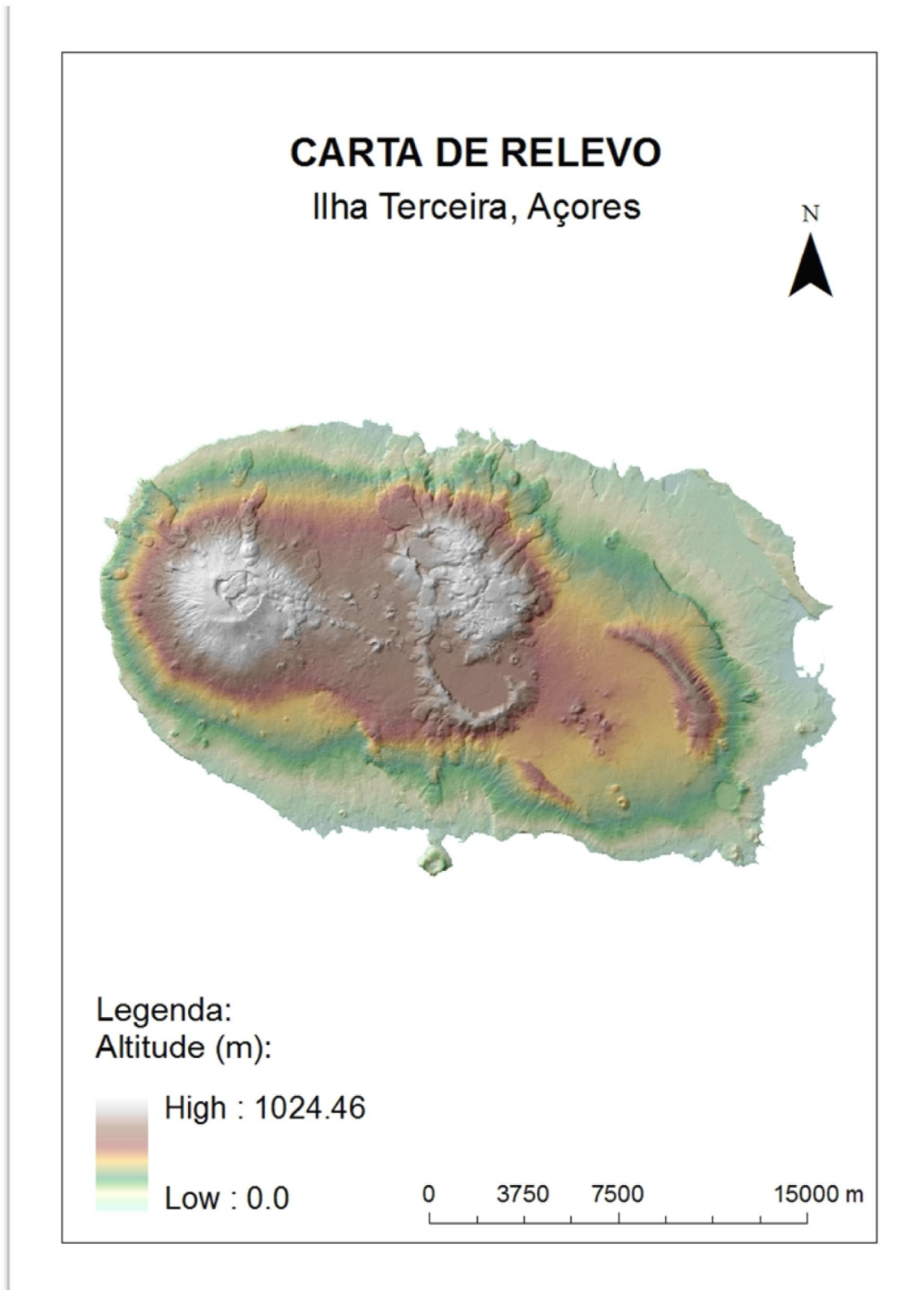


Figura 14 Carta de relevo da Ilha Terceira

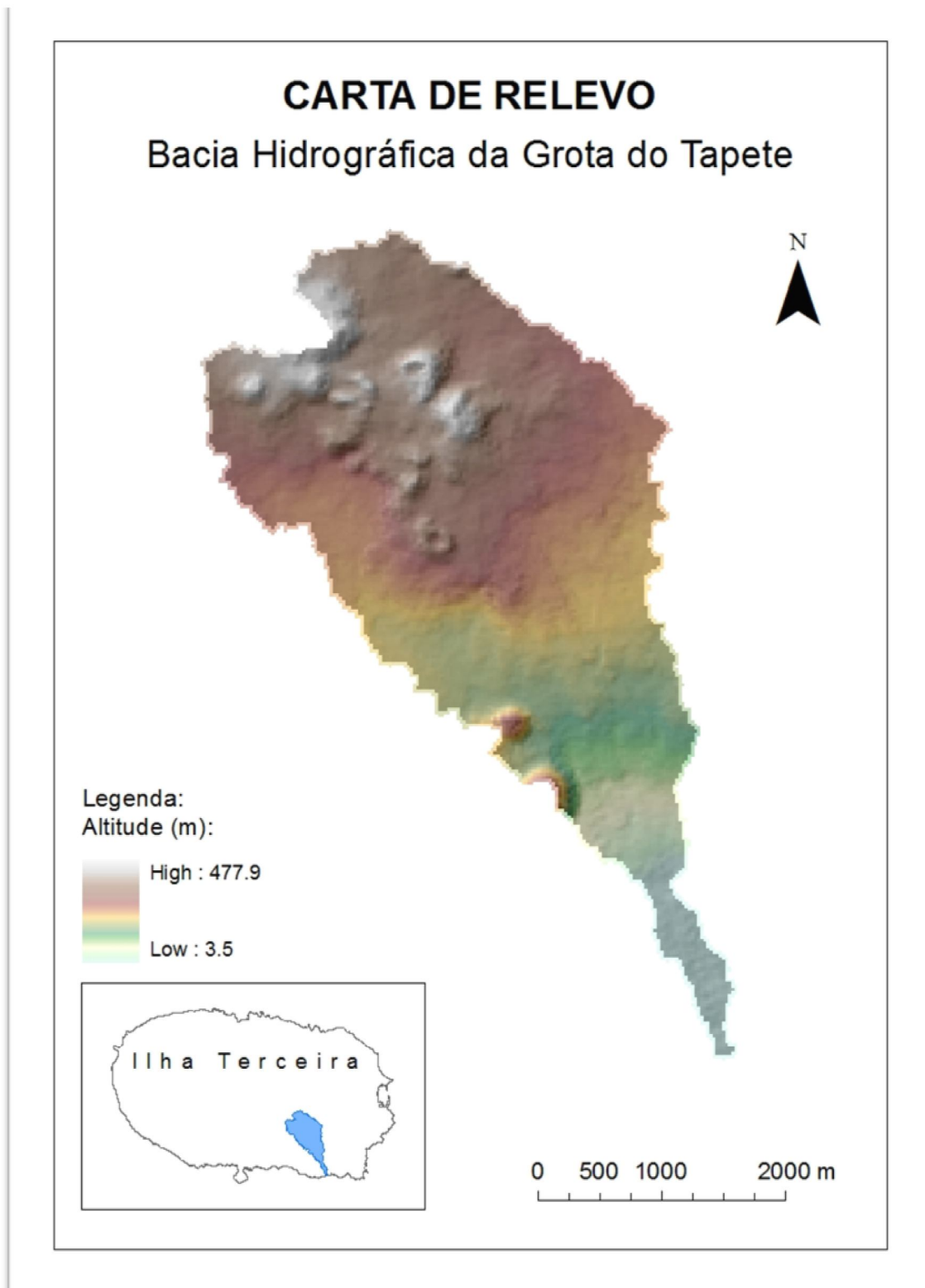


Figura 15 Carta de relevo da bacia hidrográfica da Grota do Tapete.

## 6 RESULTADOS

### 6.1.1 CARTAS DERIVADAS DO MDT

Neste subcapítulo são apresentadas as cartas derivadas do MDT da bacia hidrográfica da Grota do Tapete (Figura 14), criadas para apoiar a análise da configuração da bacia, nomeadamente:

- Carta altimétrica (Figura 16);
- Carta de direção de declive (Figura 17);
- Carta de declives, em graus (Figura 18);
- Carta de declive, em percentagem (Figura 19);
- Carta de declive em m/m (Figura 20);
- Carta de convexidade/concavidade (Figura 21);
- Carta de curvatura da superfície, na direção do declive (Figura 22);
- Carta de curvatura da superfície, perpendicular à direção do declive (Figura 23).

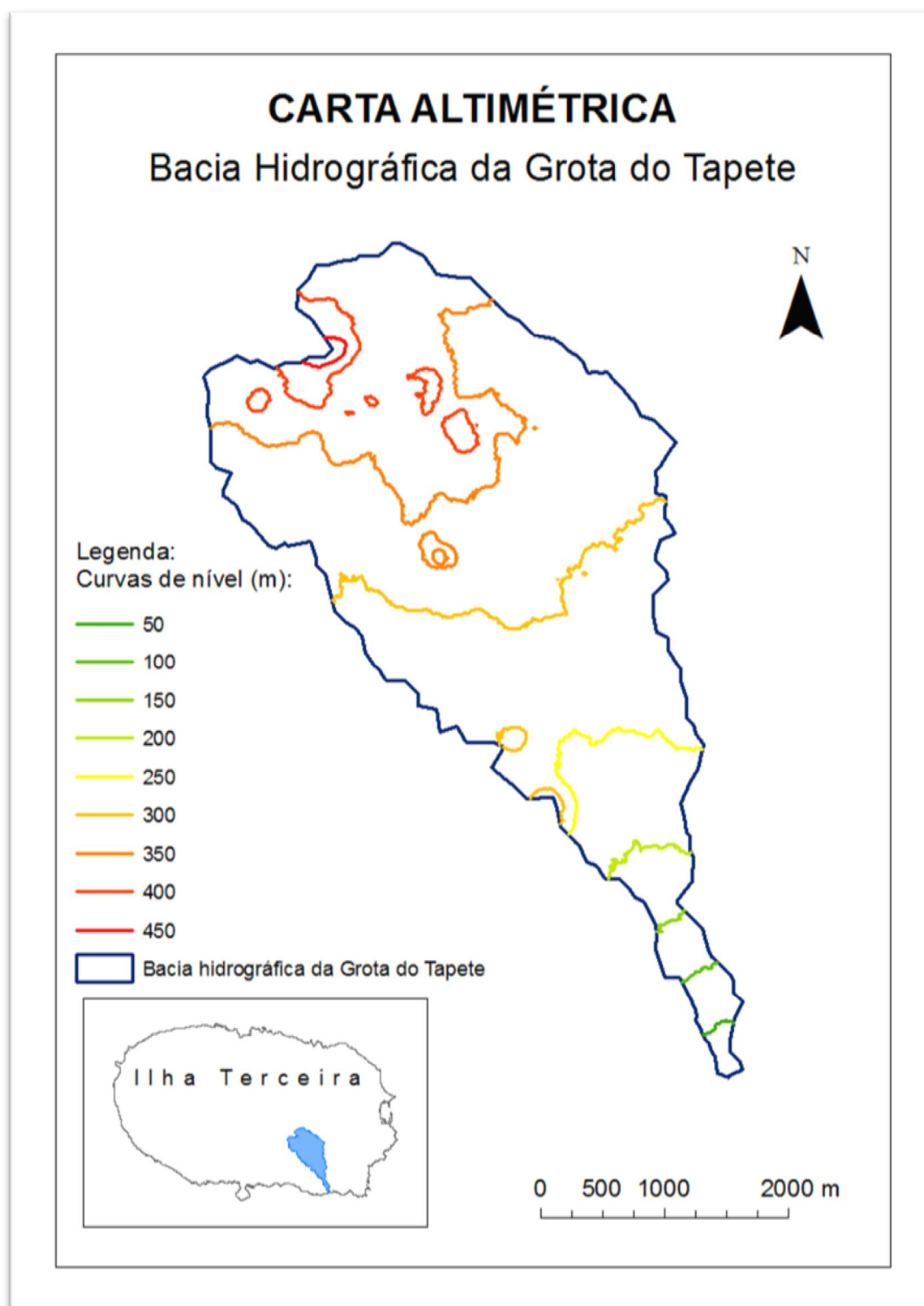


Figura 16 Carta altimétrica da Bacia Hidrográfica da Grota do Tapete.

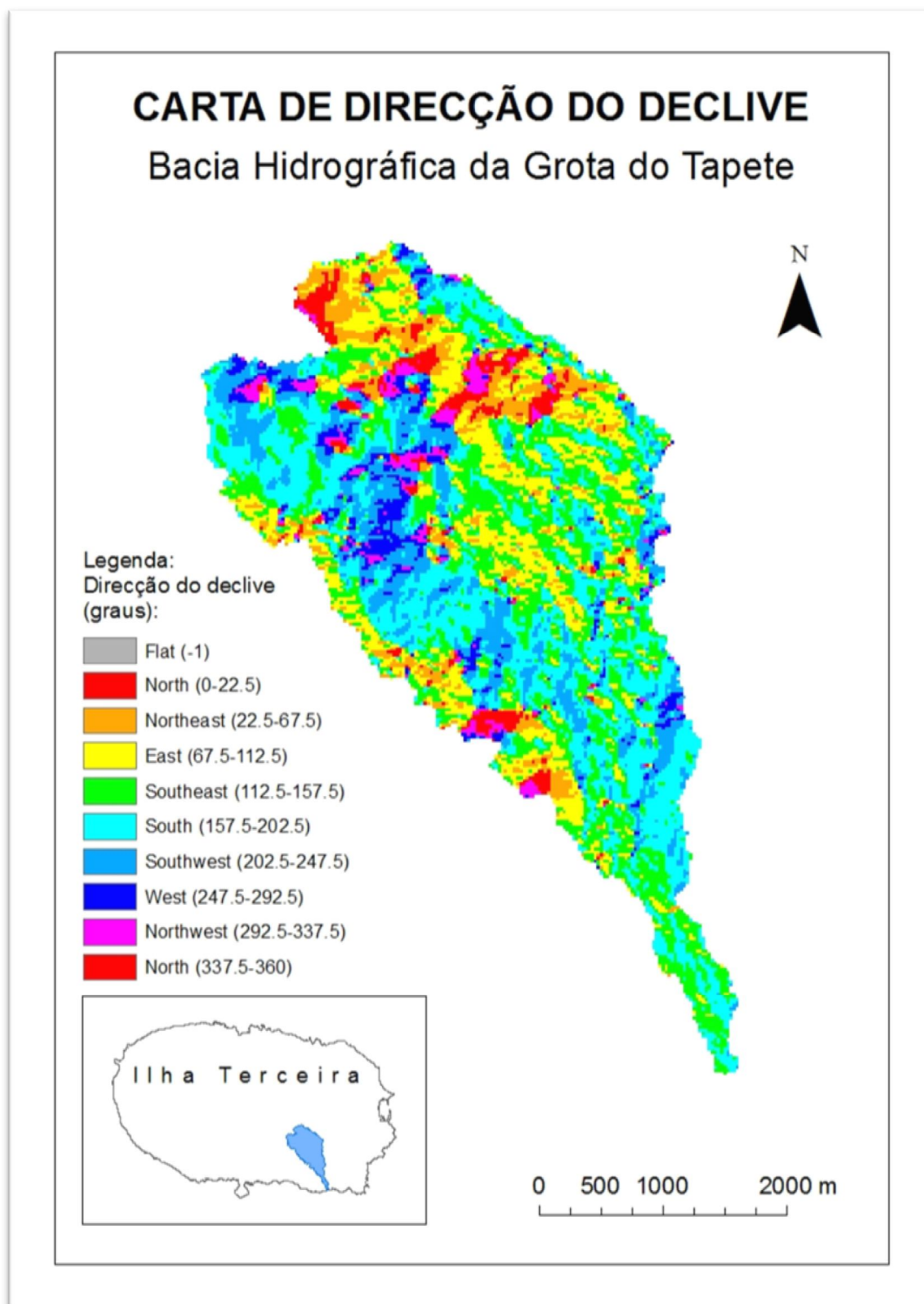


Figura 17 Carta de direcção de declive da Bacia Hidrográfica da Grota do Tapete.

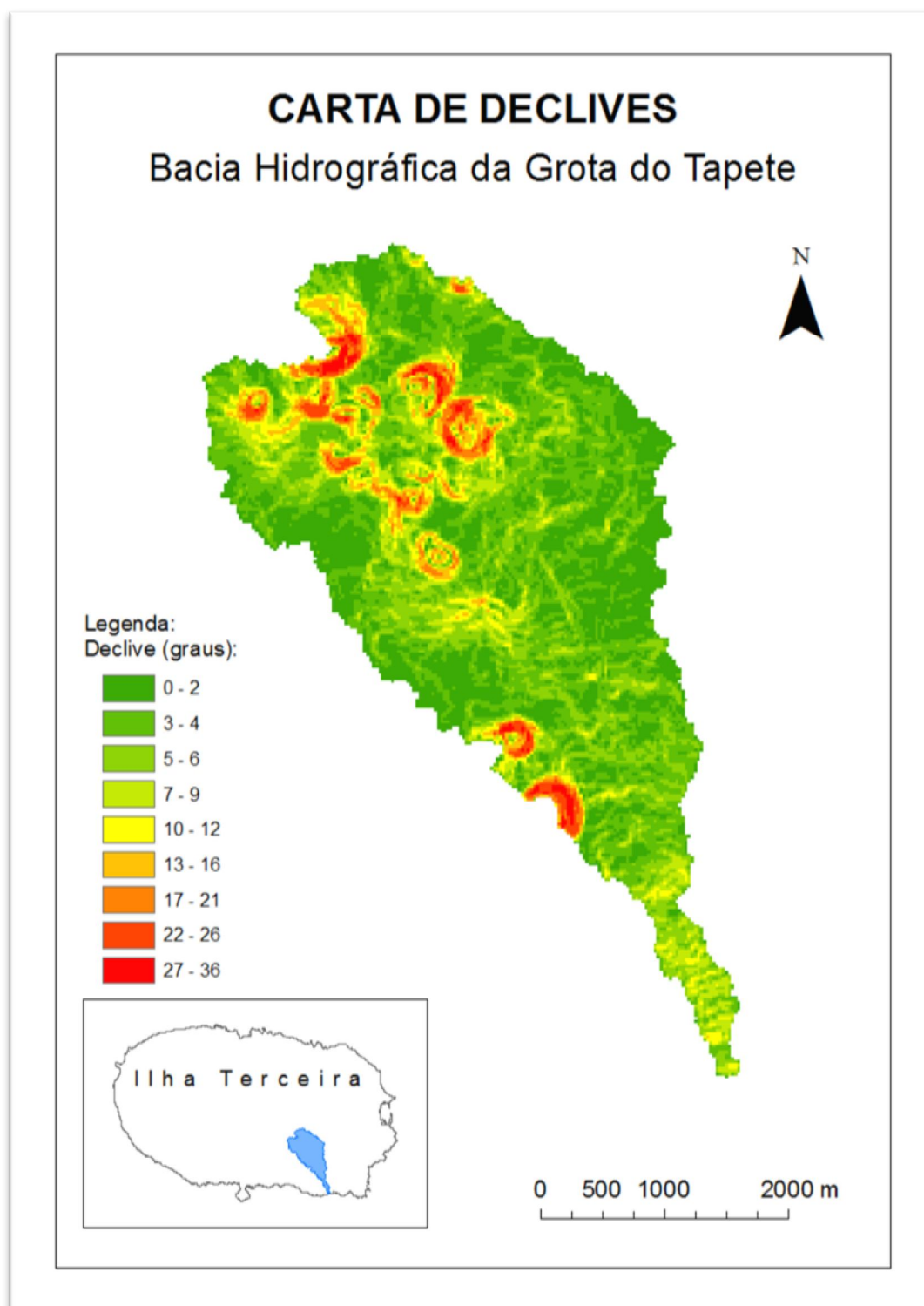


Figura 18 Carta de declives (em graus) da Bacia Hidrográfica da Grota do Tapete.

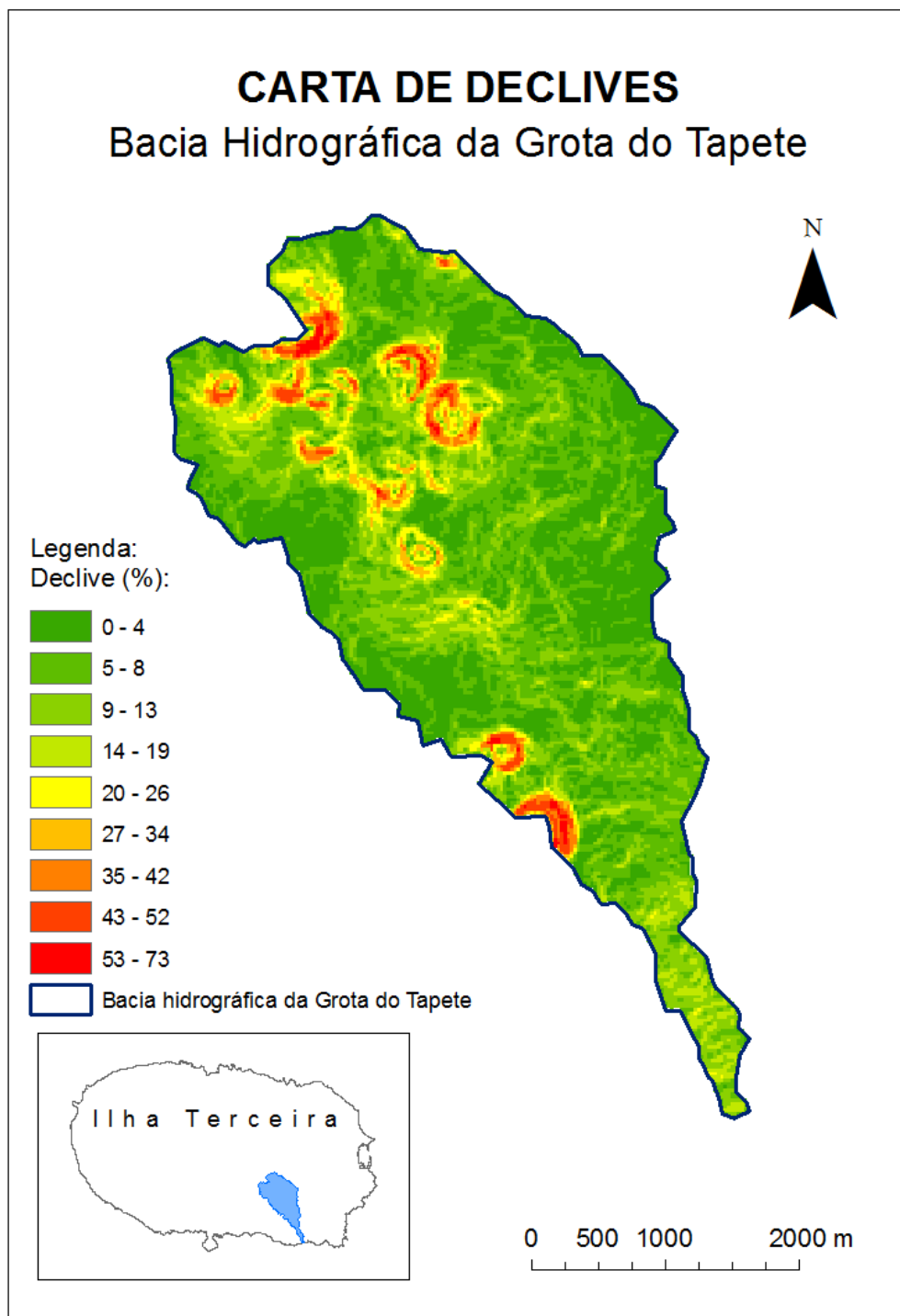


Figura 19 Carta de declives (em percentagem) da Bacia Hidrográfica da Grotta do Tapete.

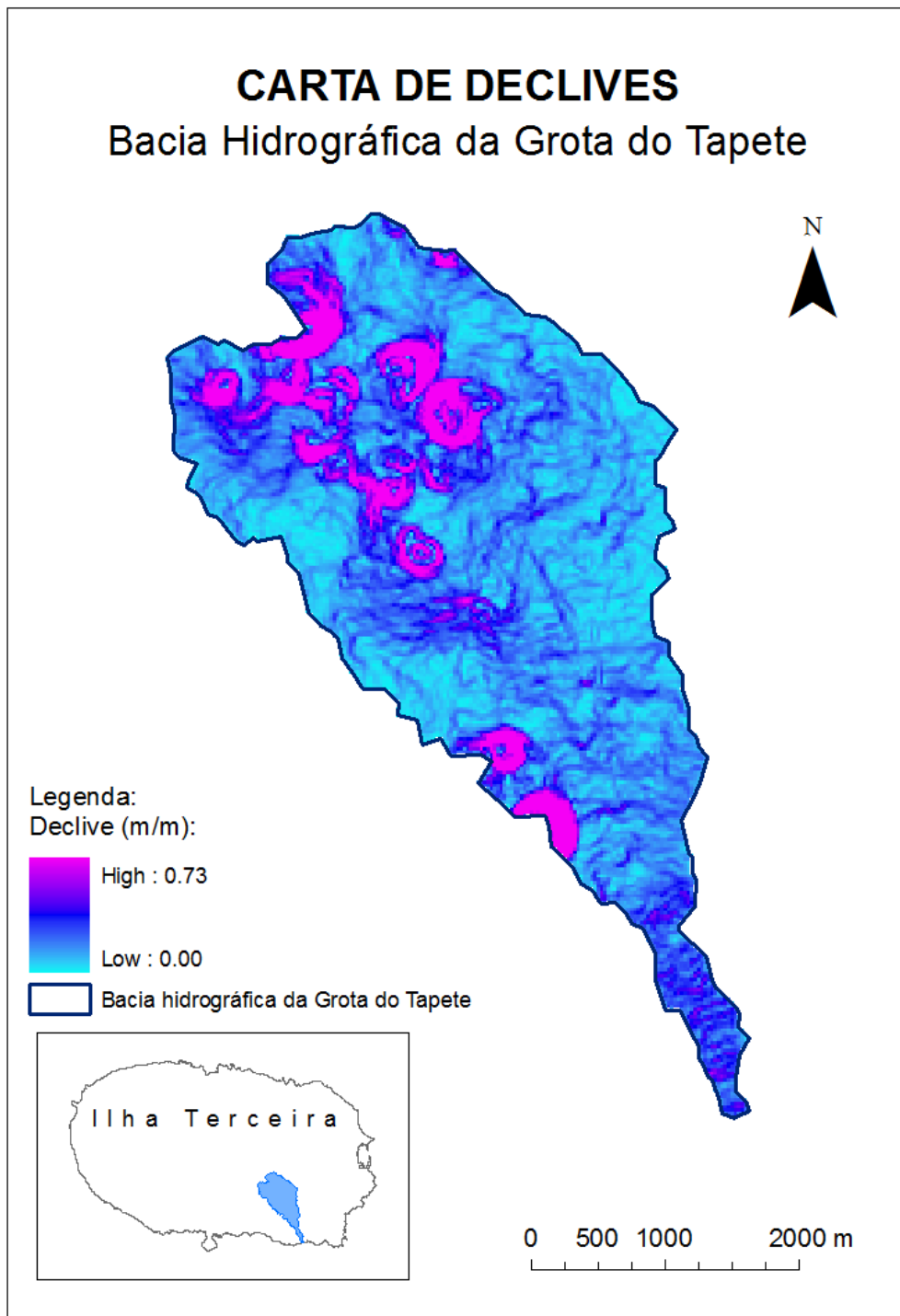


Figura 20 Carta de declives (em m/m) da Bacia Hidrográfica da Grotta do Tapete.

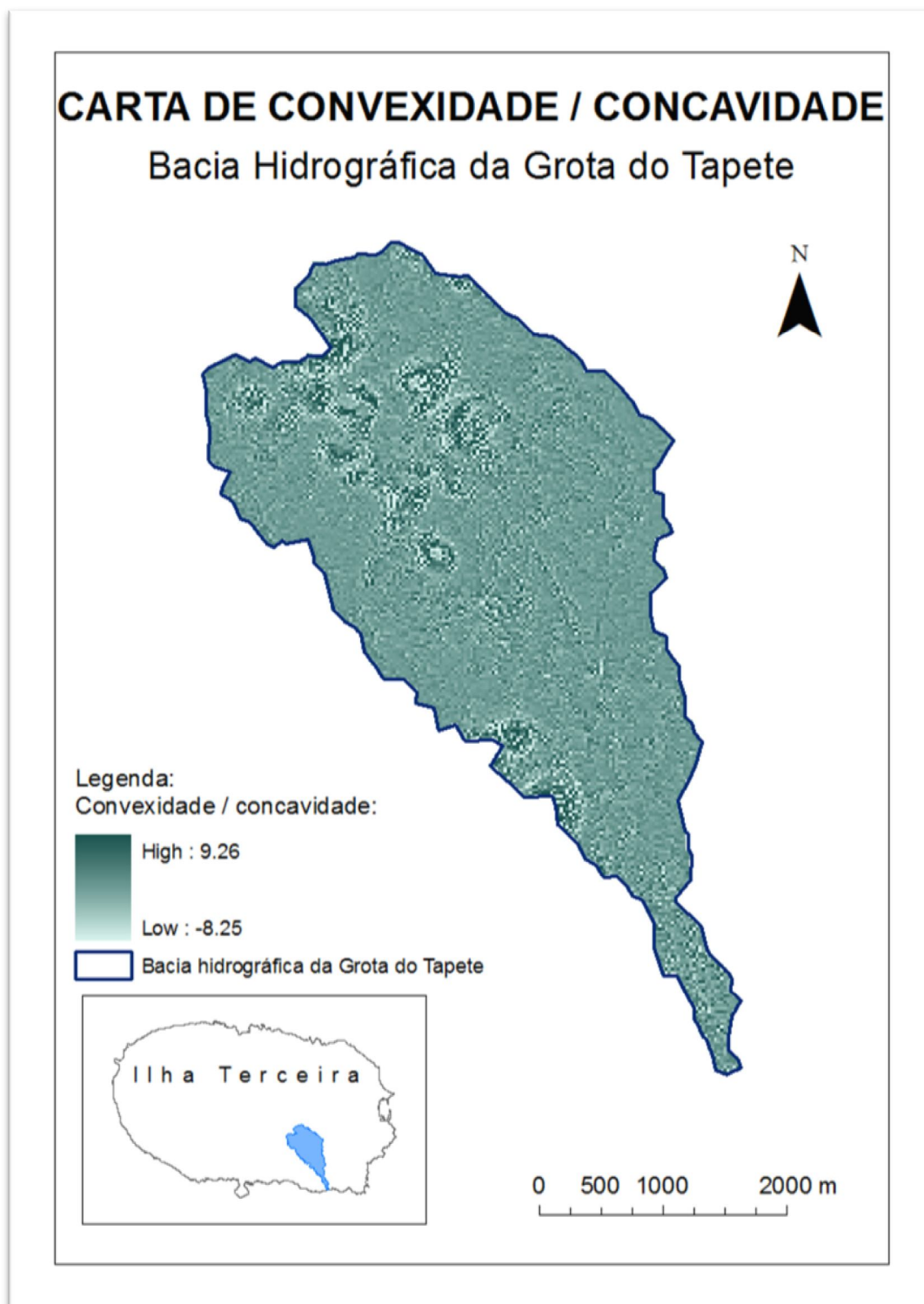


Figura 21 Carta de convexidade/concavidade da Bacia Hidrográfica da Grota do Tapete.

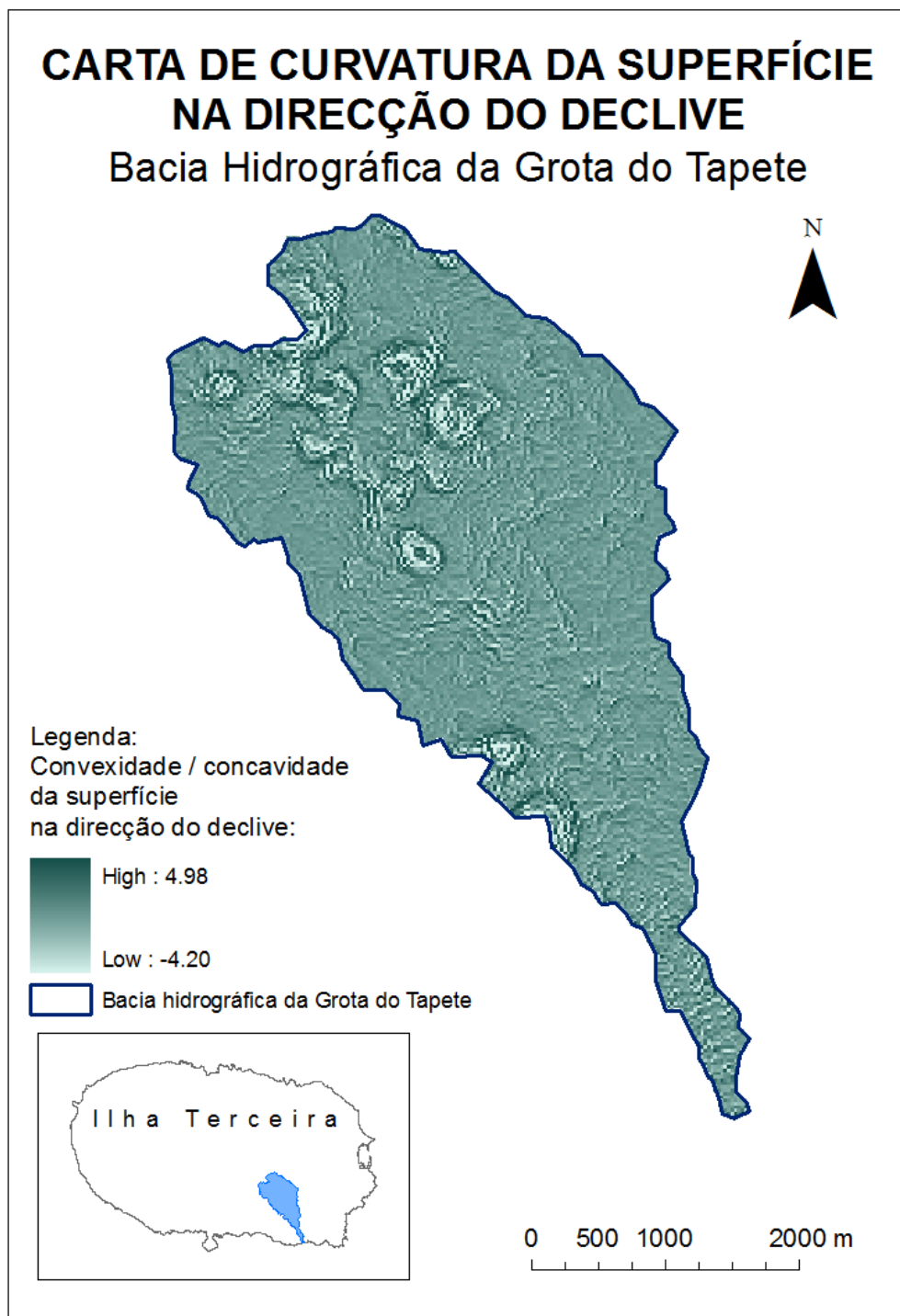


Figura 22 Carta de curvatura da superfície, na direcção do declive, da Bacia Hidrográfica da Grota do Tapete.

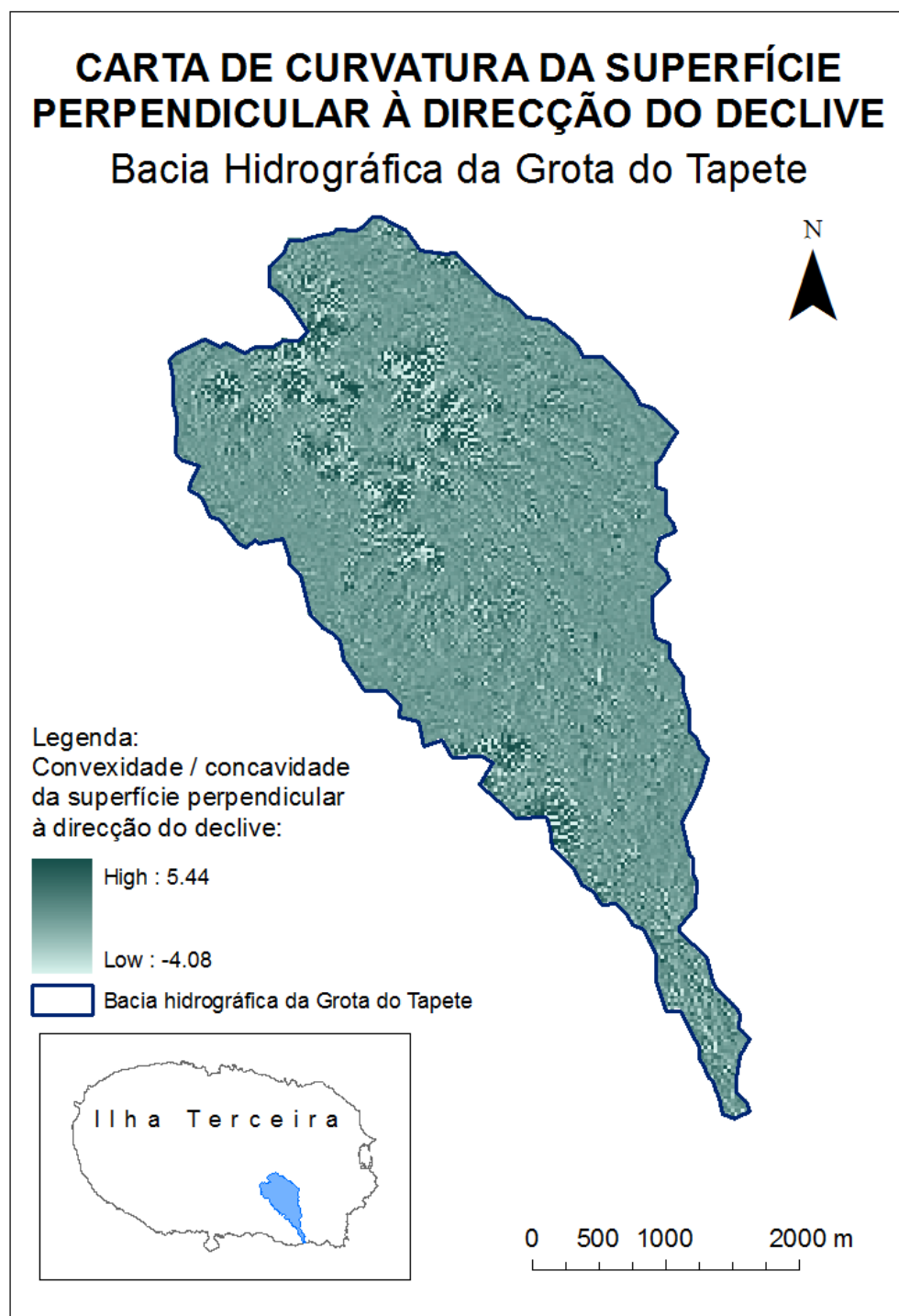


Figura 23 Carta de curvatura da superfície, perpendicular à direção do declive, da Bacia Hidrográfica da Grota do Tapete.

## 6.2 CARTAS DE BACIAS HIDROGRÁFICAS

### 6.2.1 ILHA TERCEIRA

Como mencionado anteriormente, foram geradas os seguintes mapas para a Ilha Terceira, os quais foram necessários para gerar a carta de bacias hidrográficas da Ilha Terceira (Figura 26) com o *software* ArcGIS:

- Mapa de direção de fluxo de escoamento superficial (Figura 24);
- Mapa de acumulação de fluxo, que indica as zonas de maior probabilidade de acumulação do escoamento superficial (Figura 25);
- Carta de bacias hidrográficas da Ilha Terceira (Figura 26), a qual apresenta uma configuração de bacias hidrográficas significativamente diferente da carta apresentada em Rodrigues (2001) (Figura 1).

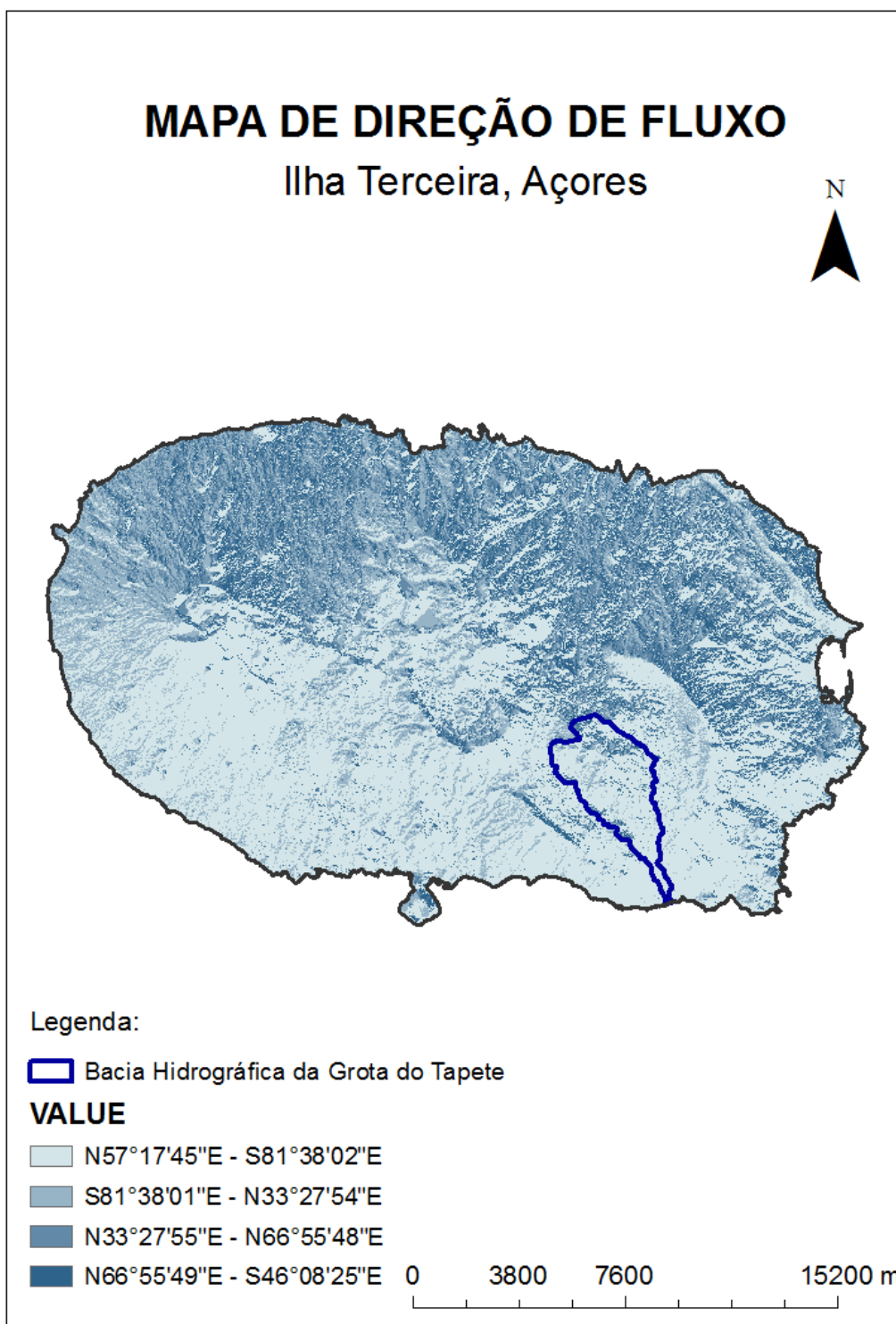


Figura 24 Mapa de direção de fluxo da Ilha Terceira.

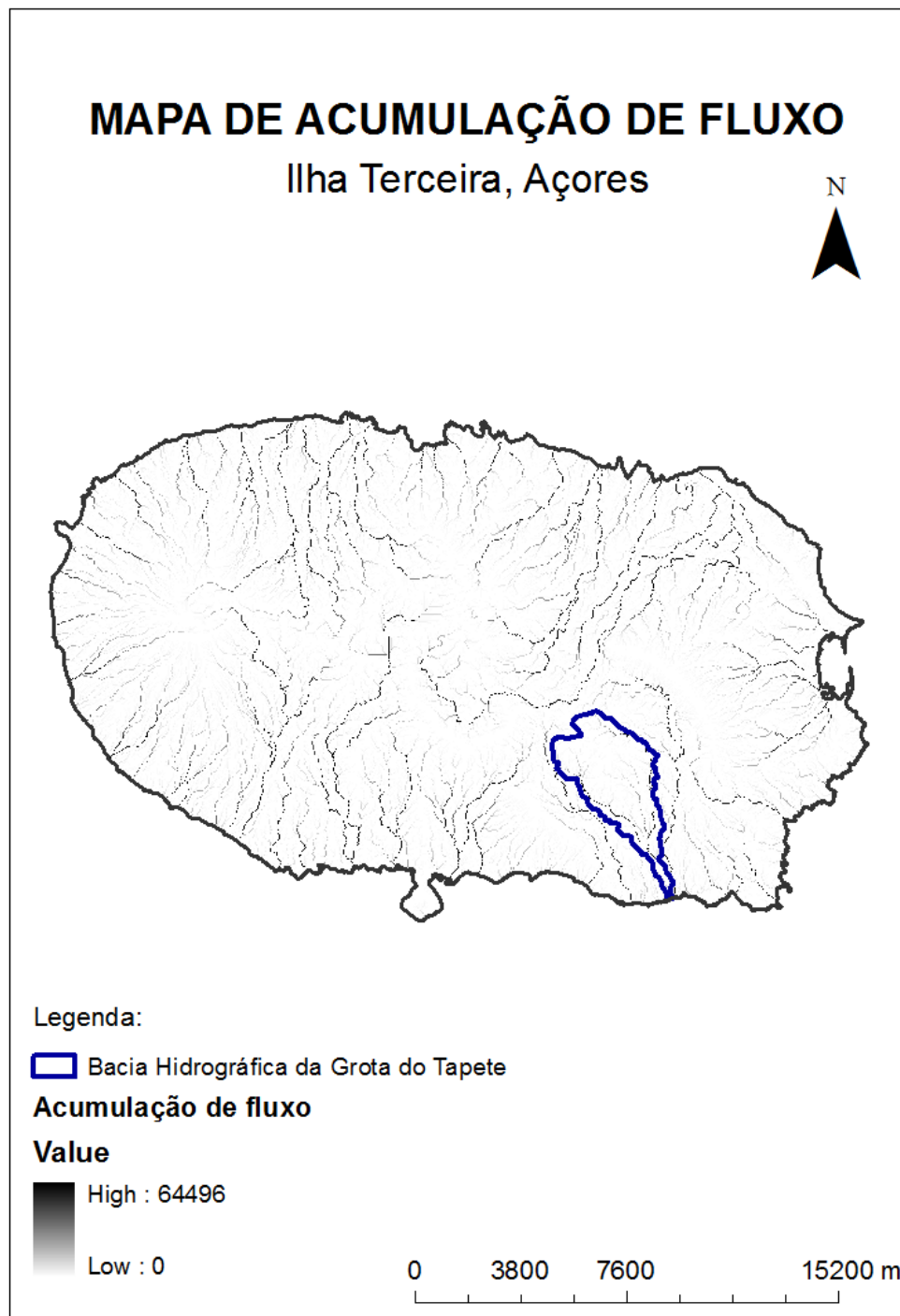


Figura 25 Mapa de acumulação de fluxo da Ilha Terceira.

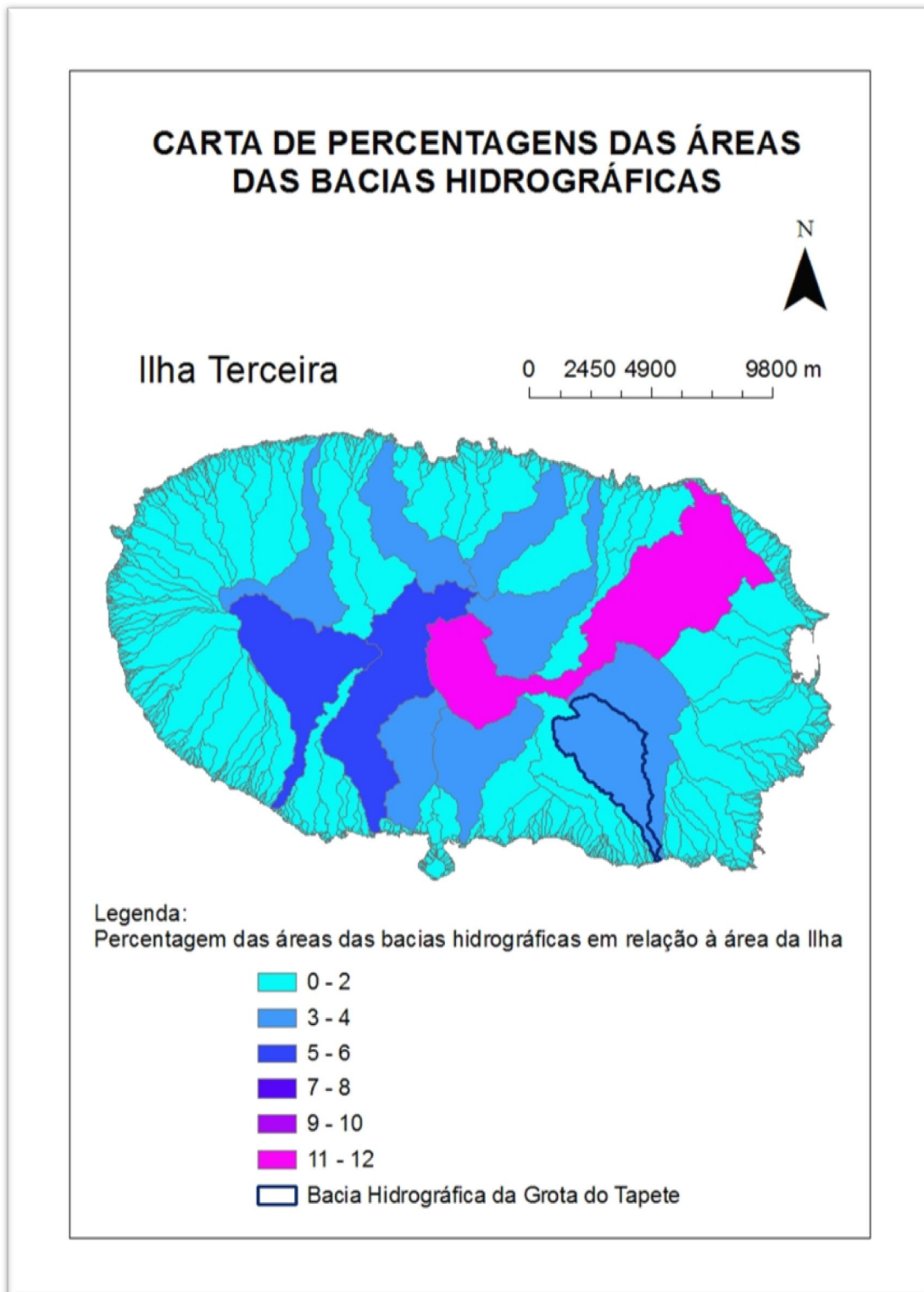


Figura 26 Carta de bacias hidrográficas da Ilha Terceira.

## 6 RESULTADOS

### 6.2.2 BACIA HIDROGRÁFICA DA GROTA DO TAPETE

A bacia hidrográfica da Grotta do Tapete foi identificada através da carta das bacias hidrográficas da Ilha Terceira (Figura 26), tendo-se verificado que tem uma área de cerca de 12,18 km<sup>2</sup>. Na figura seguinte (Figura 27) é apresentado o ortofoto da bacia, de 2004:

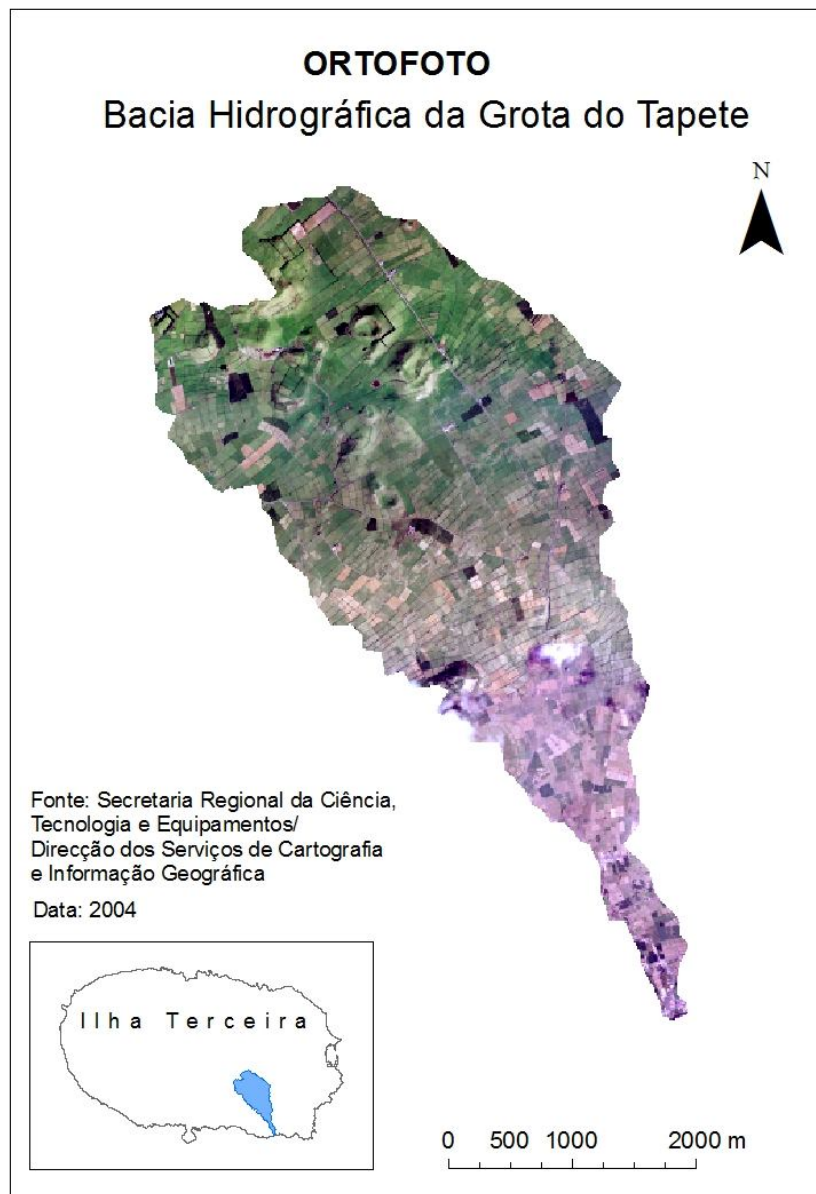


Figura 27 Ortofoto da bacia hidrográfica da Grotta do Tapete.

### 6.2.3 GROTA DO TAPETE

A Grota do Tapete é uma linha de água efémera. O nível freático ao longo do seu traçado fica abaixo do leito desta linha de água.

O escoamento superficial que ocorreu mais recentemente na Grota do Tapete, foi nos dias 11 e 12 de Maio de 2012, na sequência de fortes chuvadas, que causaram diversos estragos na Ilha Terceira. Segundo os autóctones, anteriormente ao evento referido, apenas houve escoamento superficial nesta linha de água há cerca de quarenta anos.

Parte do traçado desta linha de água foi convertido em estrada, a qual é denominada "Grota do Tapete". Dado que houve modificações ao longo do traçado desta linha de água, em termos de construções e aterros, admite-se que a linha preferencial de acumulação de fluxo de escoamento superficial atualmente não coincida na íntegra com o traçado da Grota do Tapete indicado na carta hidrográfica do Instituto Geográfico do Exército, como se mostra na figura seguinte (Figura 28):

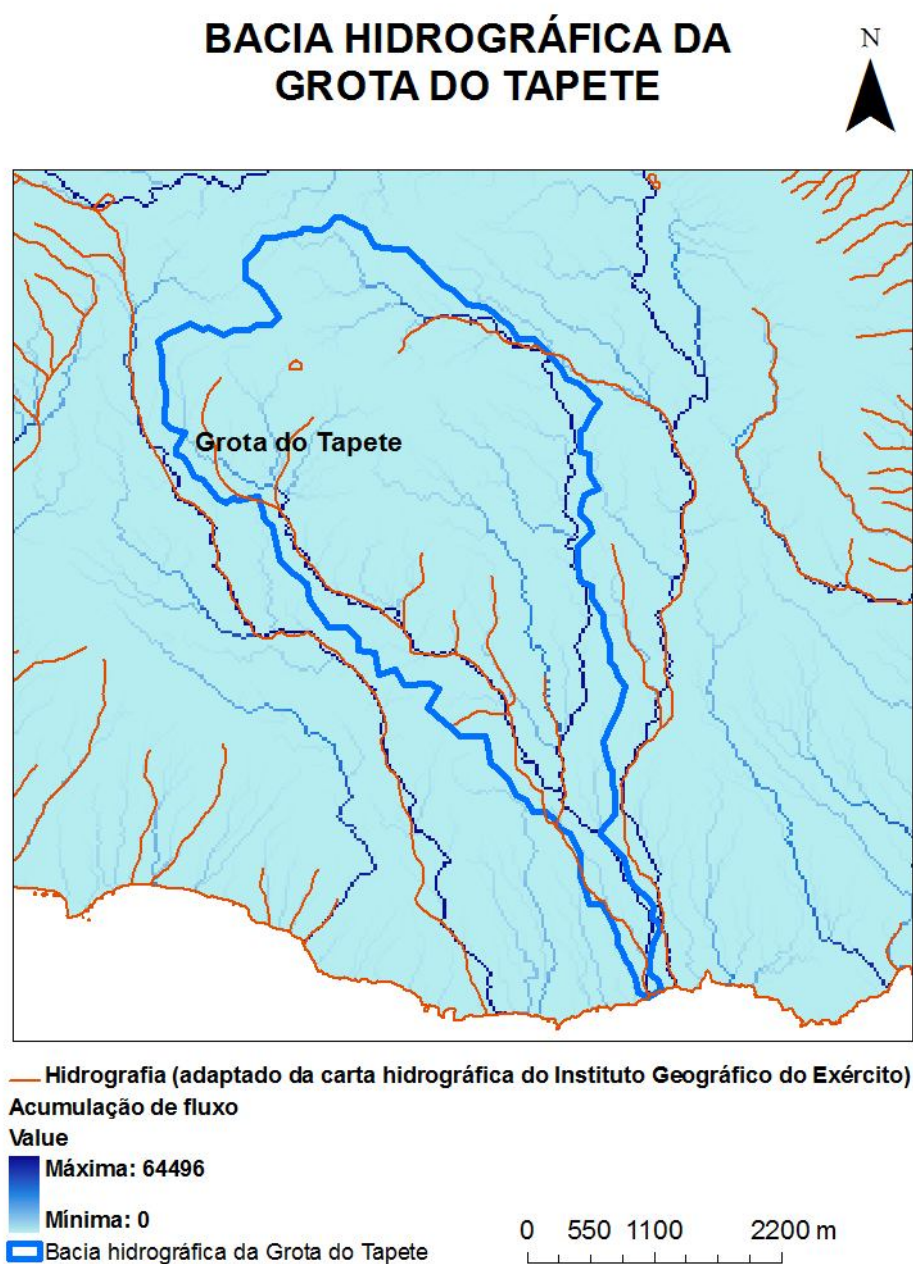


Figura 28 Grotto do Tapete: traçado indicado na carta hidrográfica do Instituto Geográfico do Exército vs. linha preferencial de acumulação de fluxo de escoamento superficial.

### 6.3 EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA DIÁRIA DISTRIBUÍDA

Neste subcapítulo são apresentadas as cartas de evapotranspiração de referência diária distribuída da Ilha Terceira, para os dias em que o modelo MHIDRIV foi corrido.

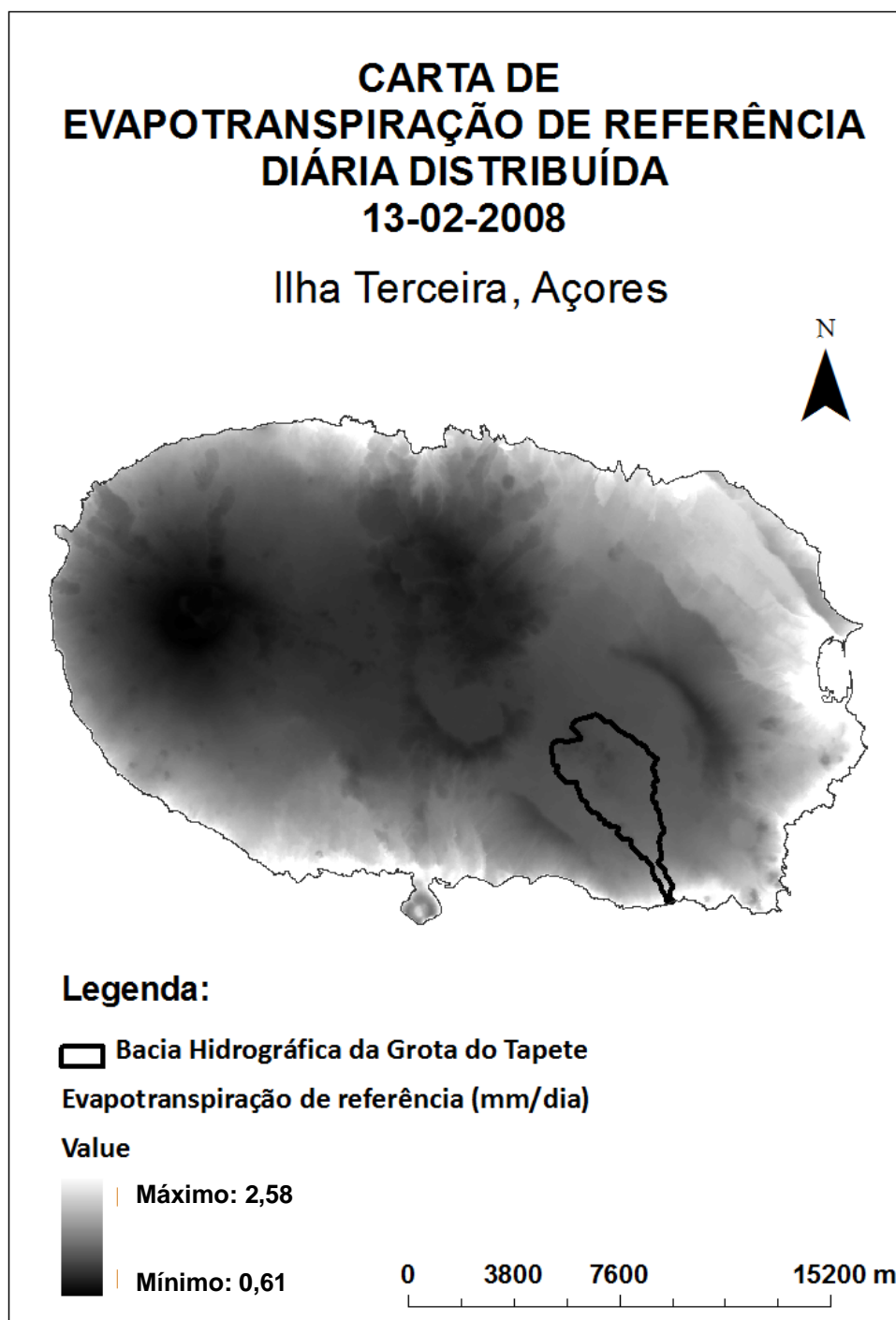


Figura 29 Carta de evapotranspiração de referência diária distribuída da Ilha Terceira, do dia 13-02-2008.

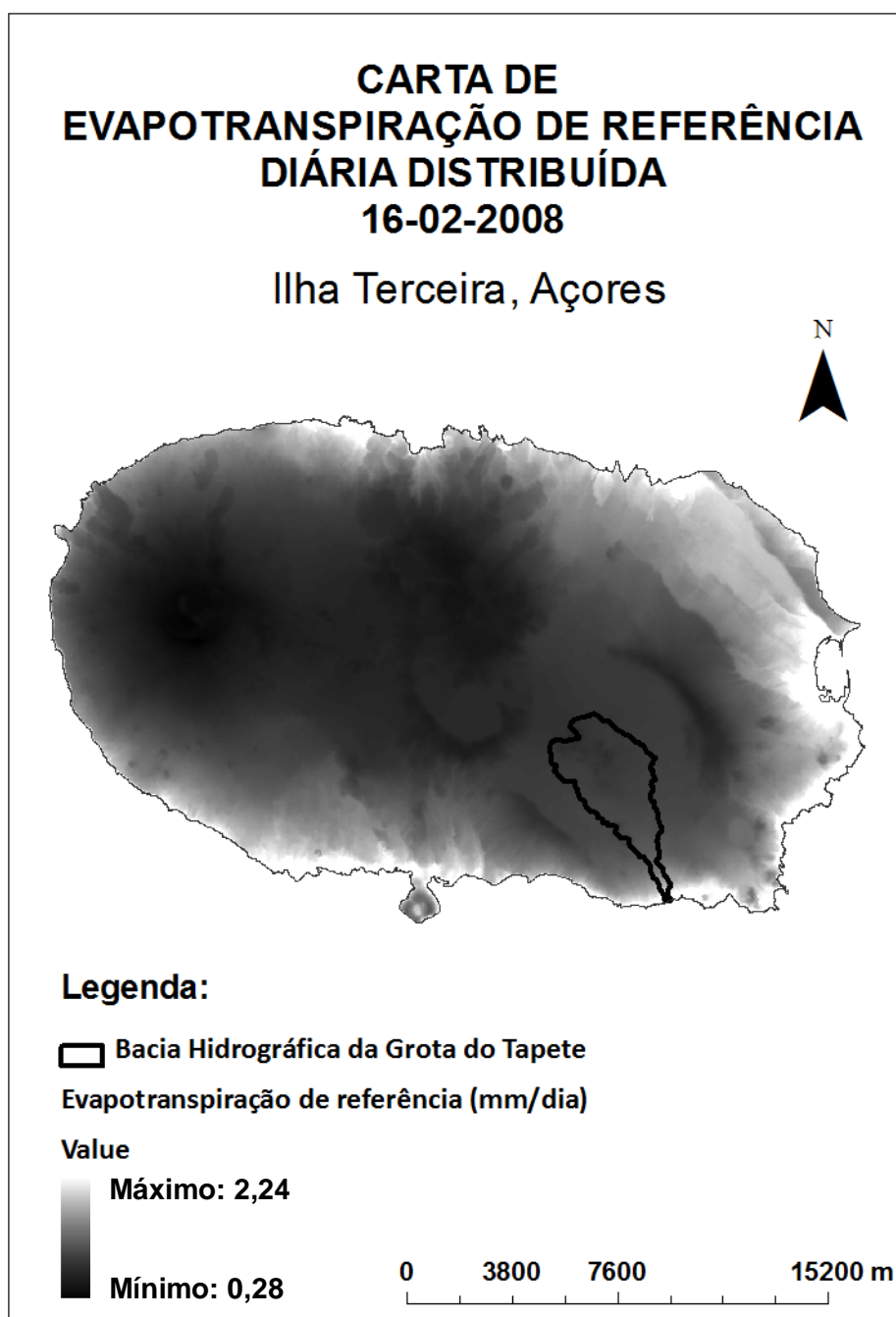


Figura 30 Carta de evapotranspiração de referência diária distribuída da Ilha Terceira, do dia 16-02-2008.

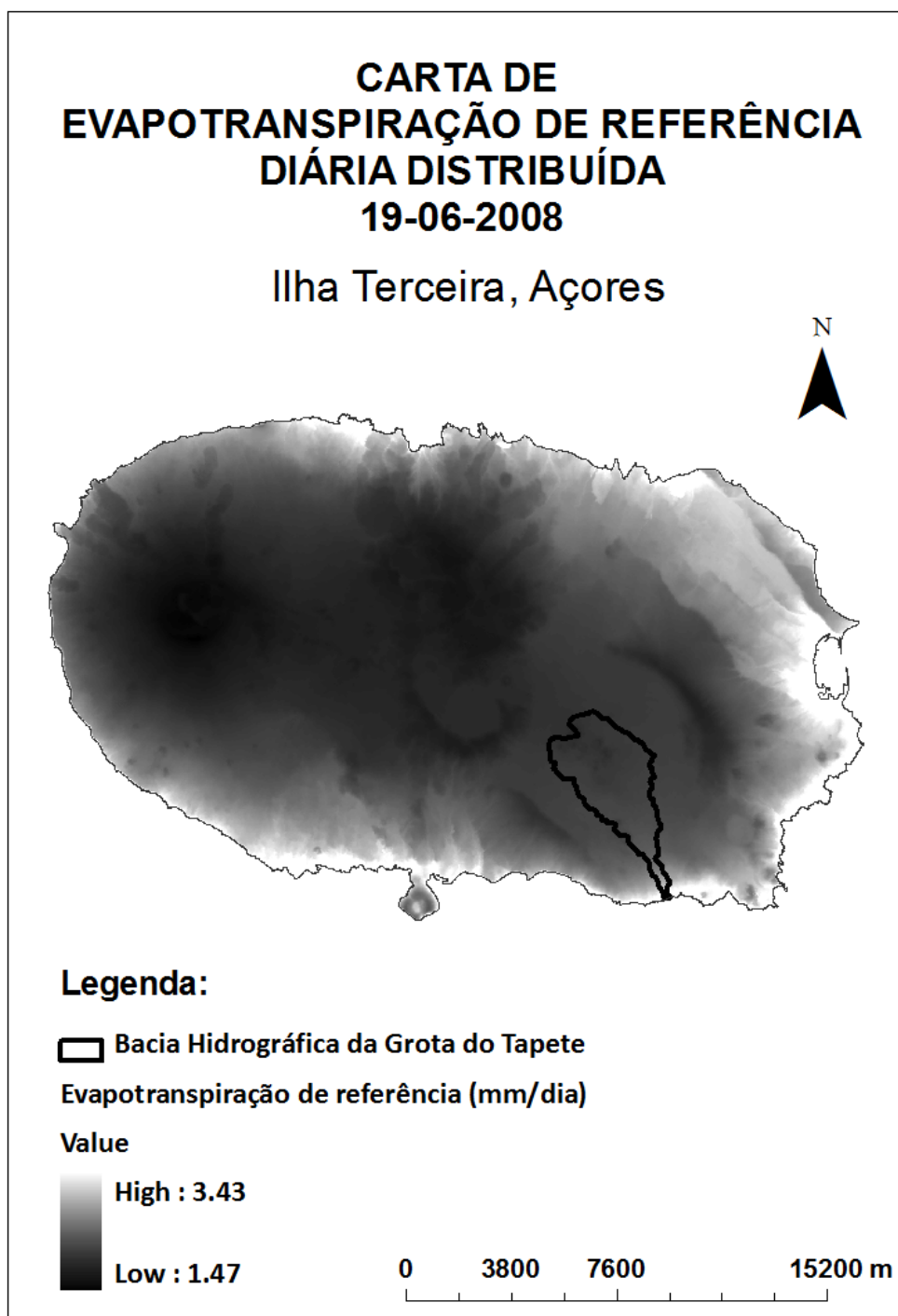


Figura 31 Carta de evapotranspiração de referência diária distribuída da Ilha Terceira, do dia 19-06-2008.

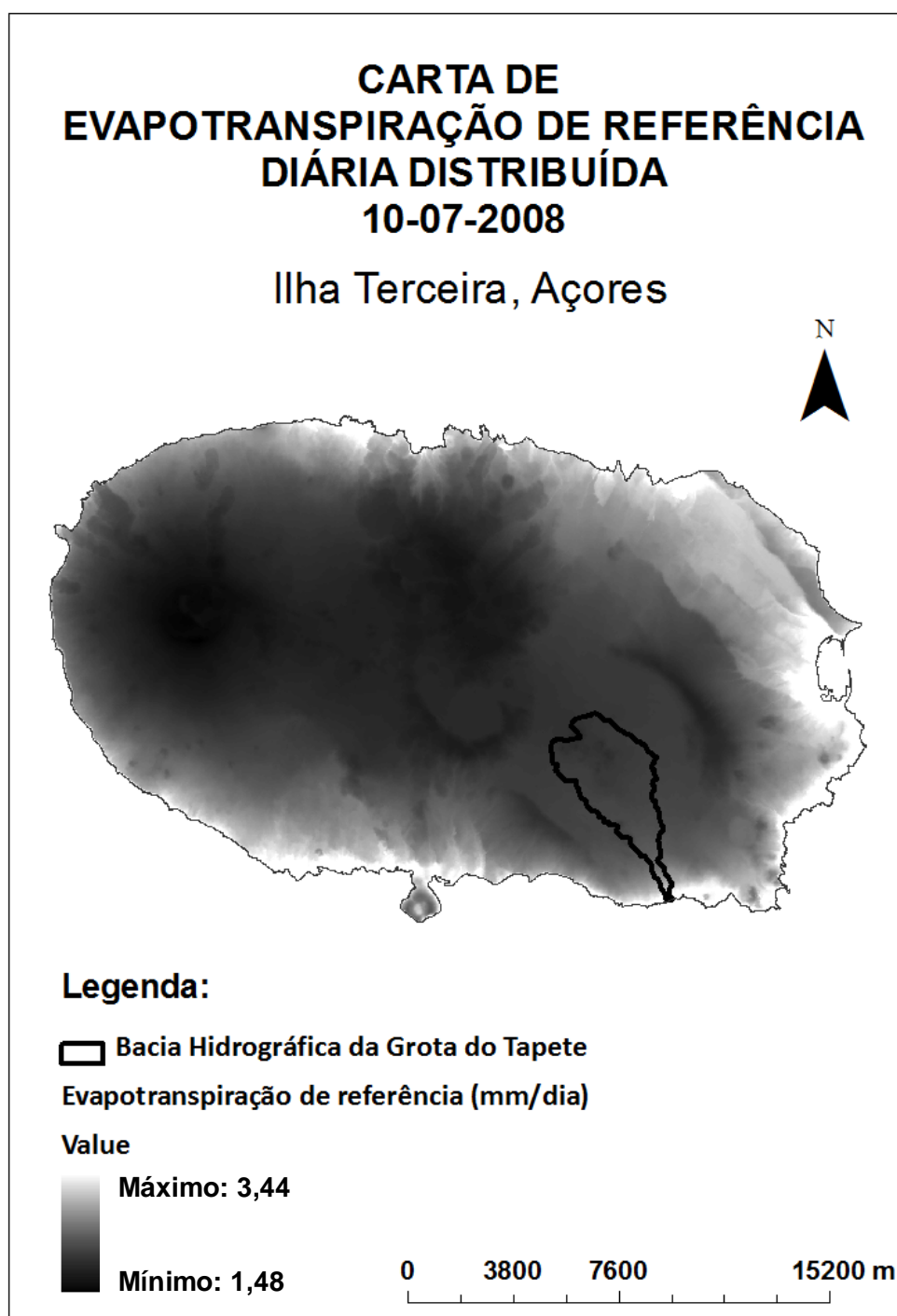


Figura 32 Carta de evapotranspiração de referência diária distribuída da Ilha Terceira, do dia 10-07-2008.

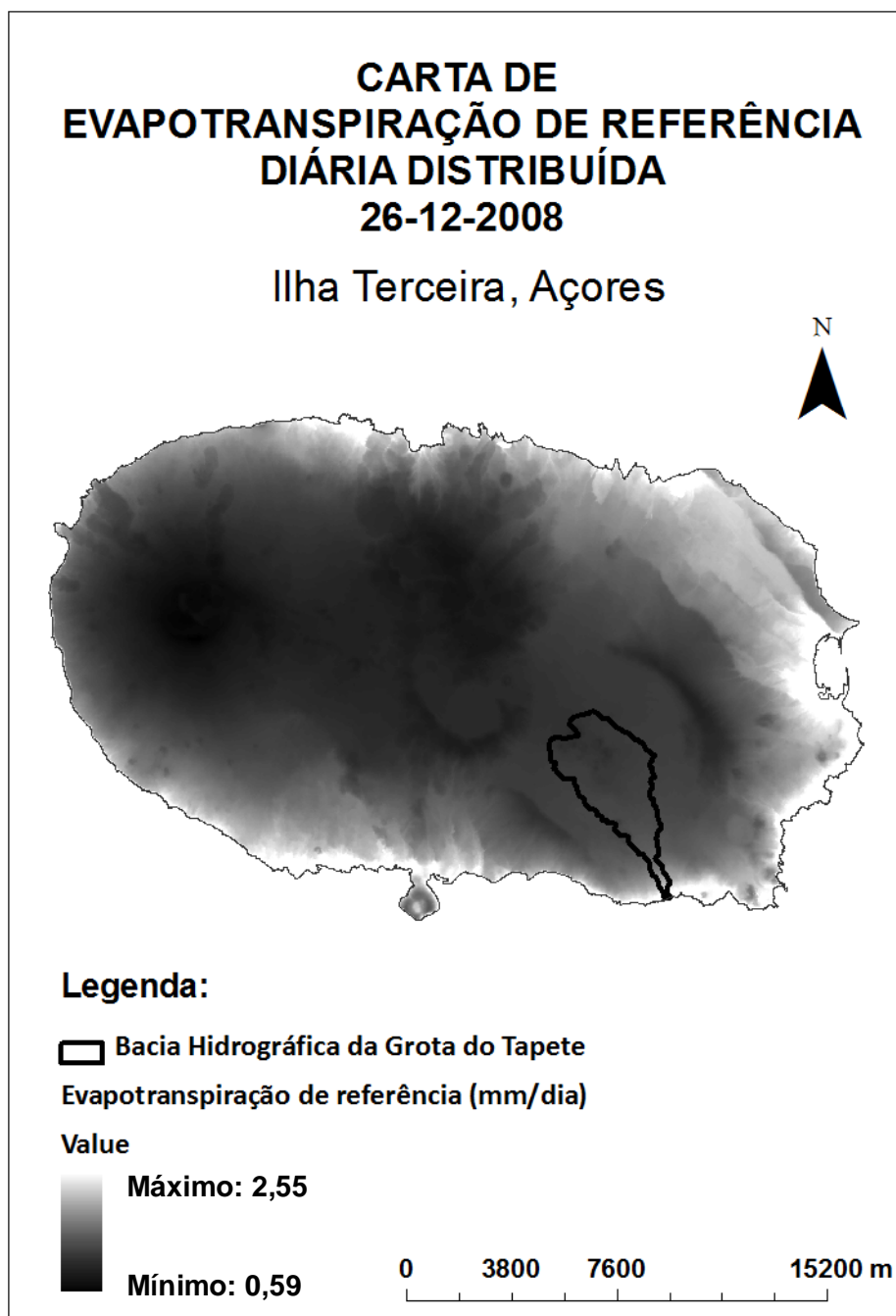


Figura 33 Carta de evapotranspiração de referência diária distribuída da Ilha Terceira, do dia 26-12-2008.

## 6.4 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO

Neste subcapítulo são apresentadas as cartas e os gráficos de áreas, de tipos de solos e grupos hidrológicos de solo, da bacia hidrográfica da Grota do Tapete.

### 6.4.1 TIPOS DE SOLO

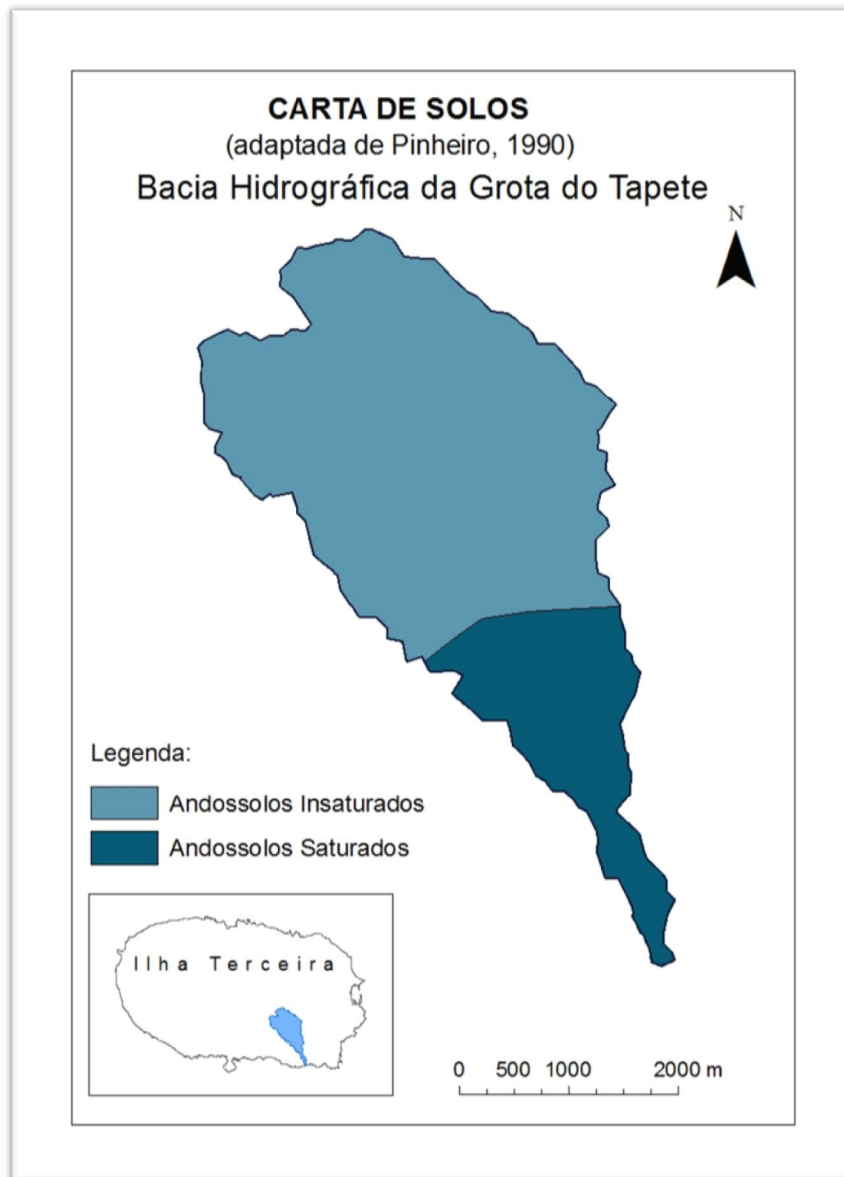


Figura 34 Carta de tipos de solos (adaptada de Pinheiro, 1990).

## 6 RESULTADOS

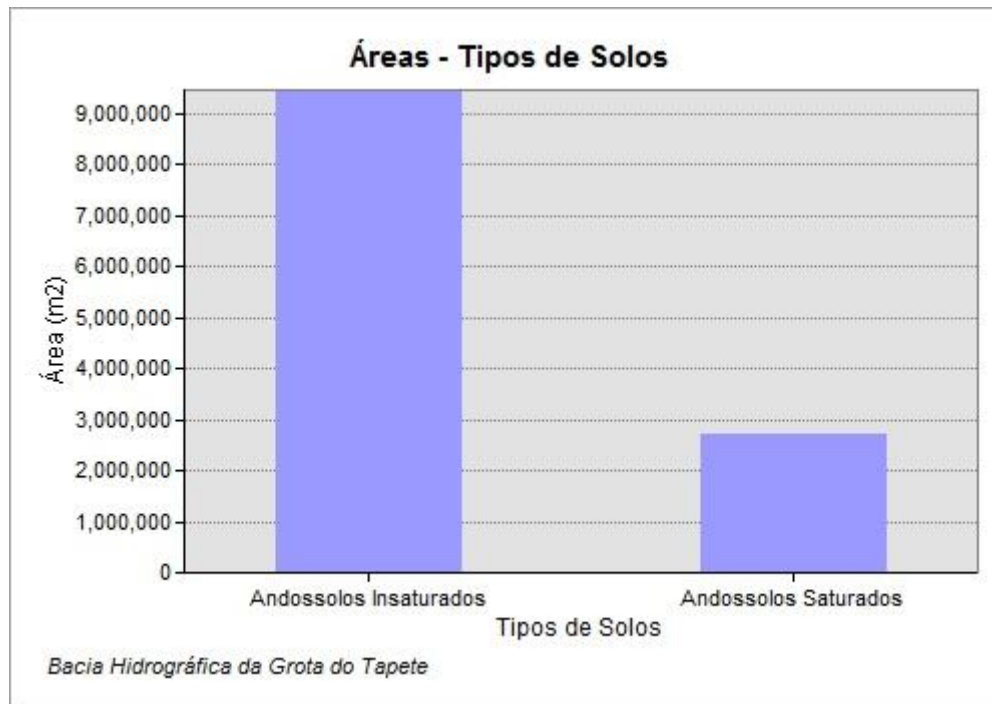


Gráfico 56 Áreas, por tipo de solo, da bacia hidrográfica da Grota do Tapete.

## 6 RESULTADOS

### 6.4.2 GRUPOS HIDROLÓGICOS DE SOLO

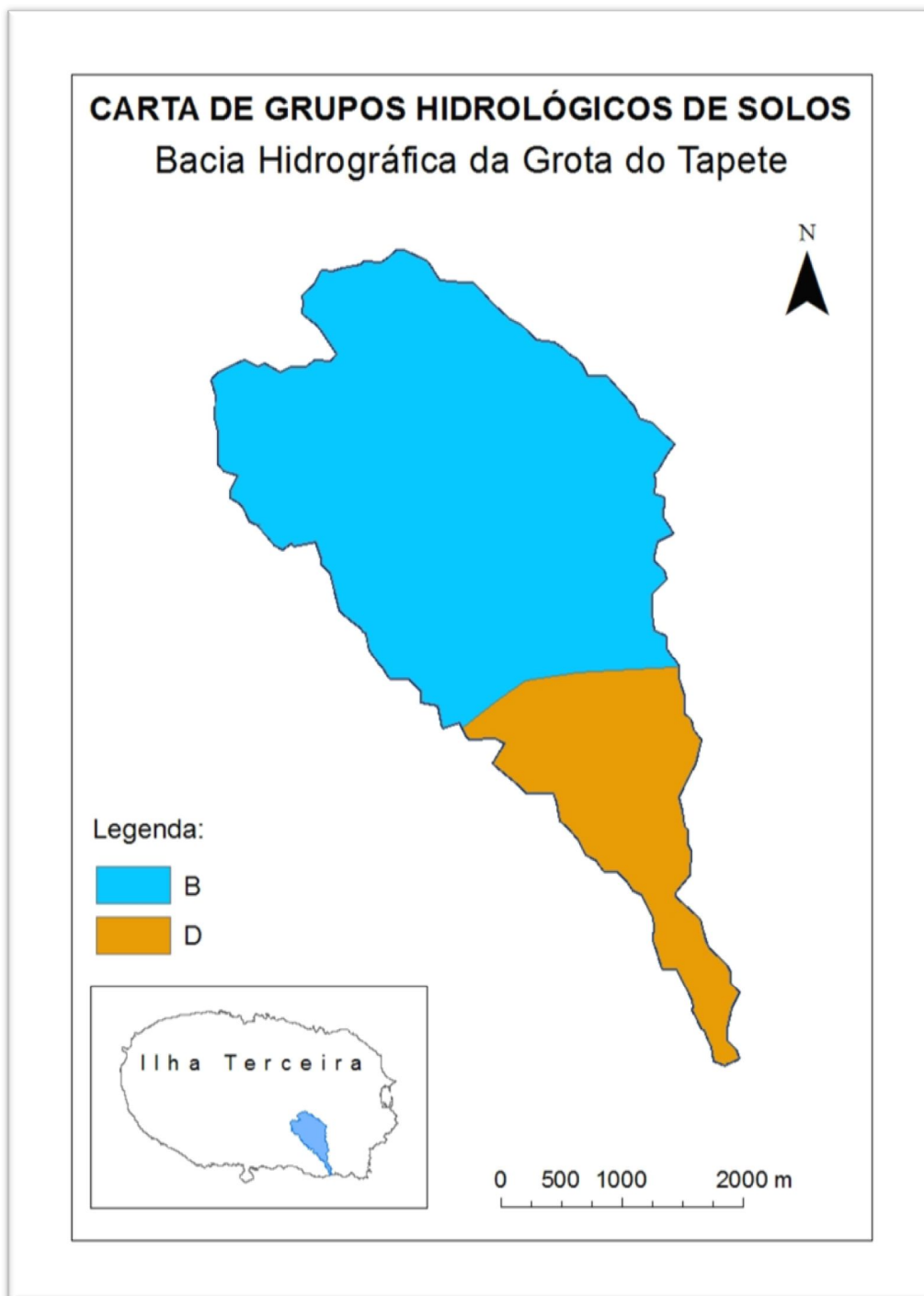


Figura 35 Carta de grupos hidrológicos de solos da bacia hidrográfica da Grotta do Tapete.

## 6 RESULTADOS

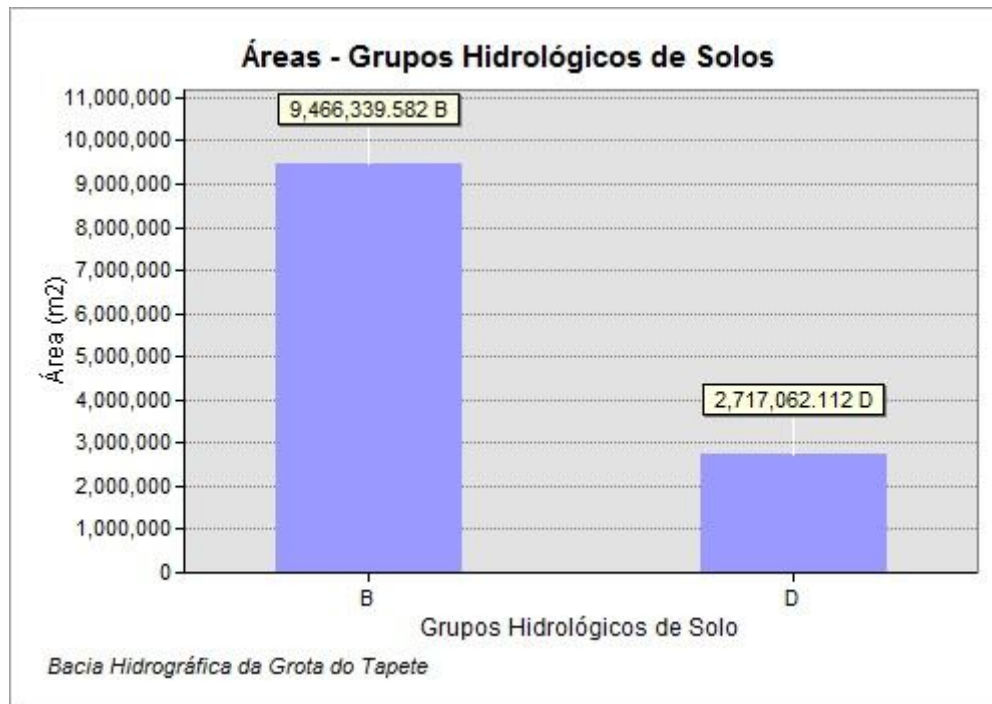


Gráfico 57 Áreas, por grupo hidrológico de solo, da bacia hidrográfica da Grota do Tapete.

## 6.5 USOS DE SOLO

Neste subcapítulo é apresentada a carta e o gráfico de áreas, de usos de solos, da bacia hidrográfica da Grota do Tapete.

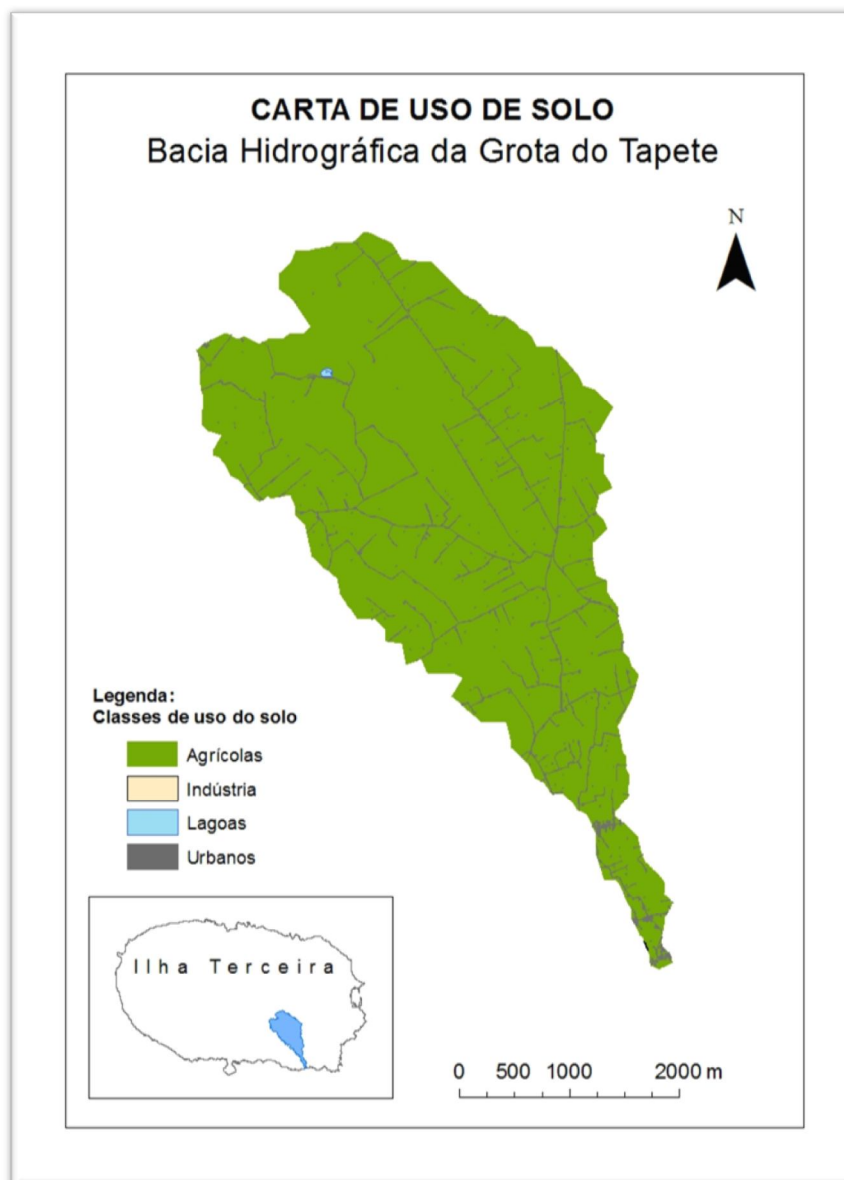


Figura 36 Carta de usos de solos da bacia hidrográfica da Grota do Tapete.

## 6 RESULTADOS

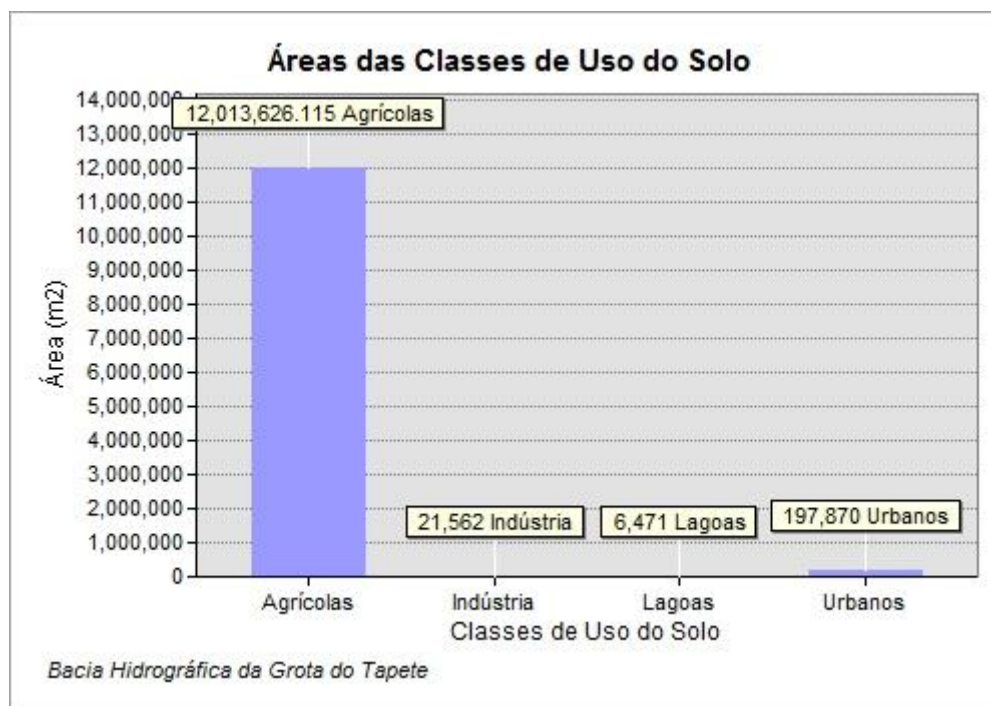


Gráfico 58 Áreas, por uso de solo, da bacia hidrográfica da Grotta do Tapete.

### 6.6 COEFICIENTES CULTURAIS

Neste subcapítulo são apresentadas as cartas mensais com coeficientes culturais da bacia hidrográfica da Grotta do Tapete, dos meses para os quais o modelo MHDRIV foi corrido.

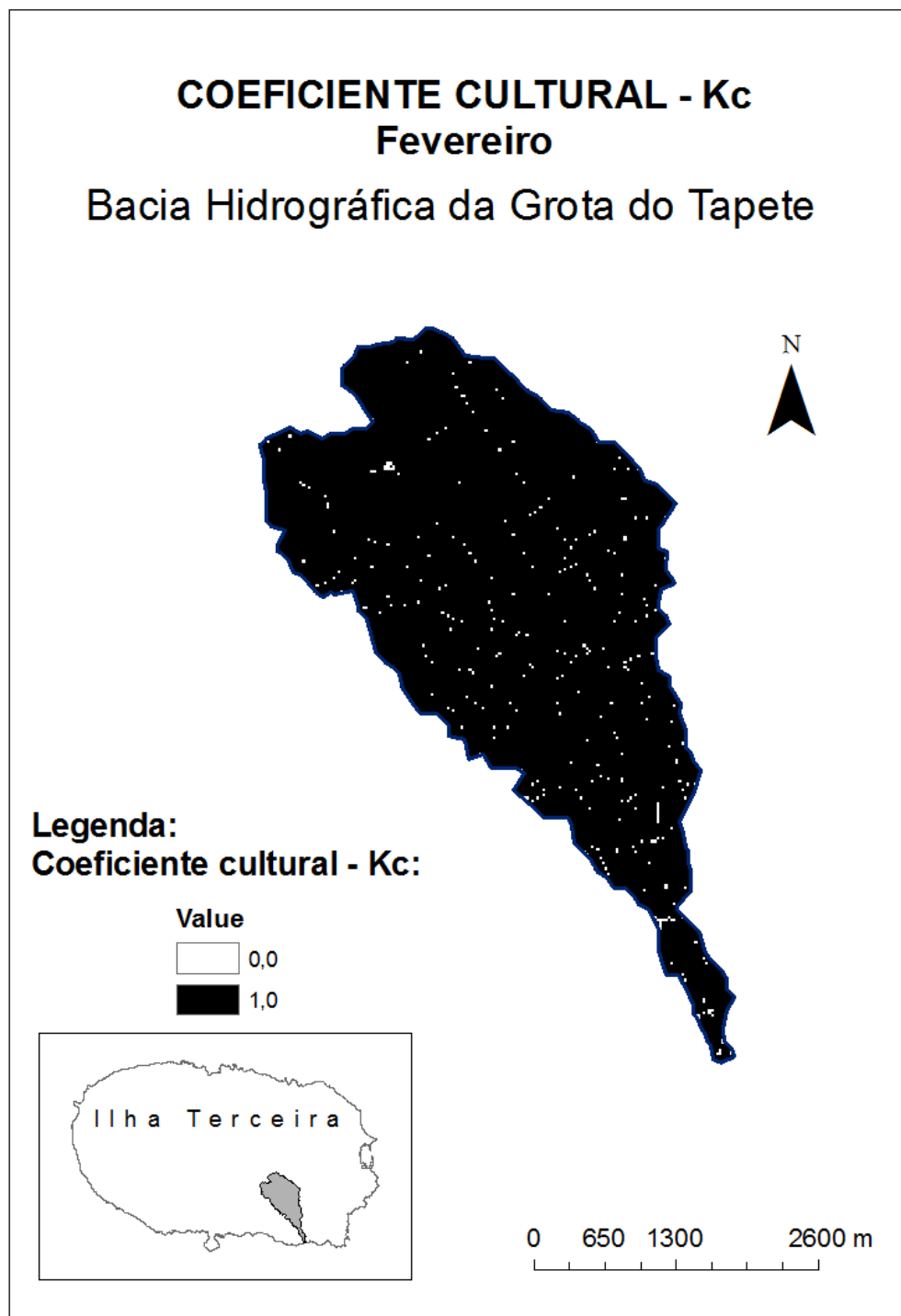


Figura 37 Carta de coeficientes culturais para o mês de Fevereiro da bacia hidrográfica da Grota do Tapete.

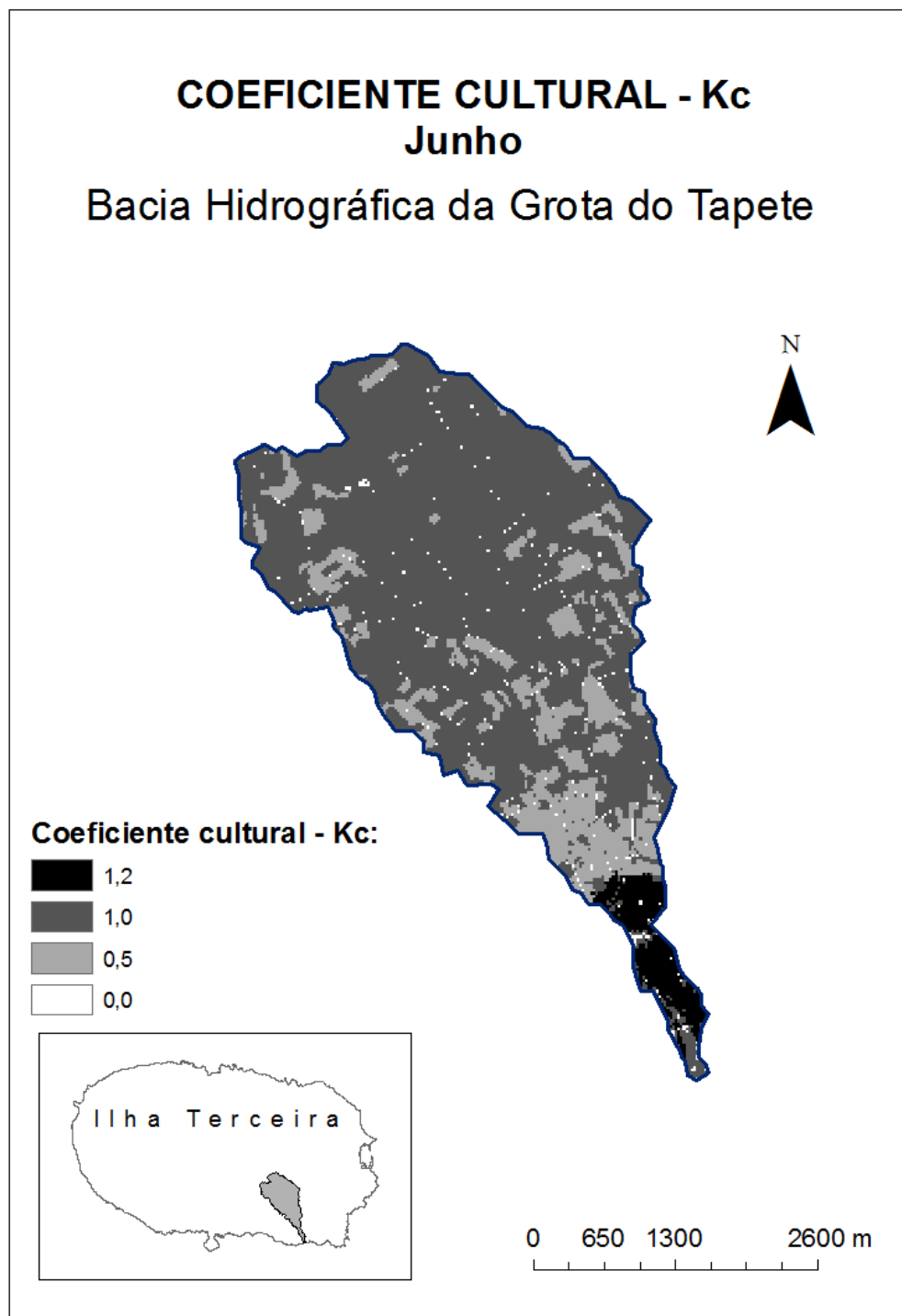


Figura 38 Carta de coeficientes culturais para o mês de Junho da bacia hidrográfica da Grota do Tapete.

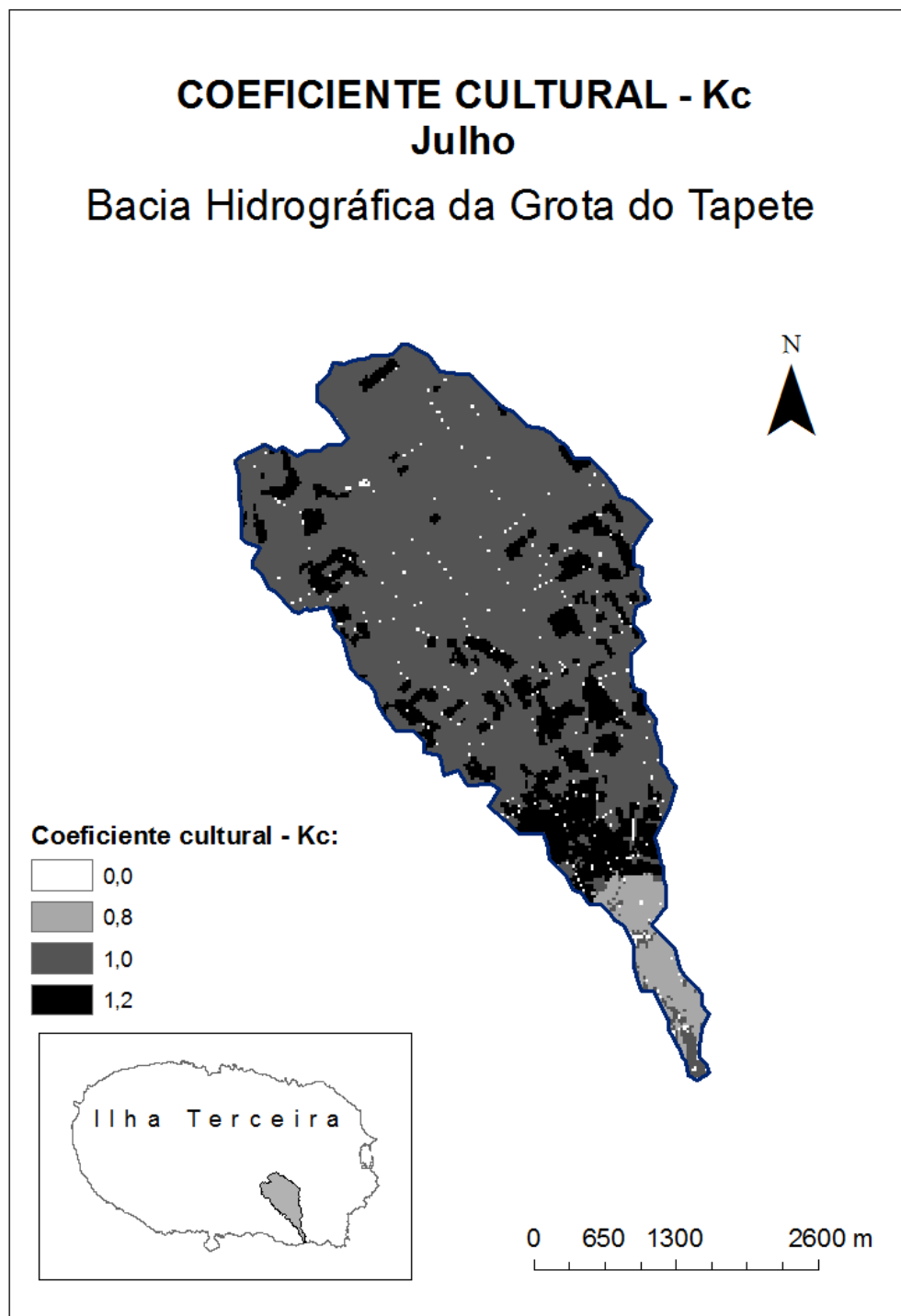


Figura 39 Carta de coeficientes culturais para o mês de Julho da bacia hidrográfica da Grota do Tapete.

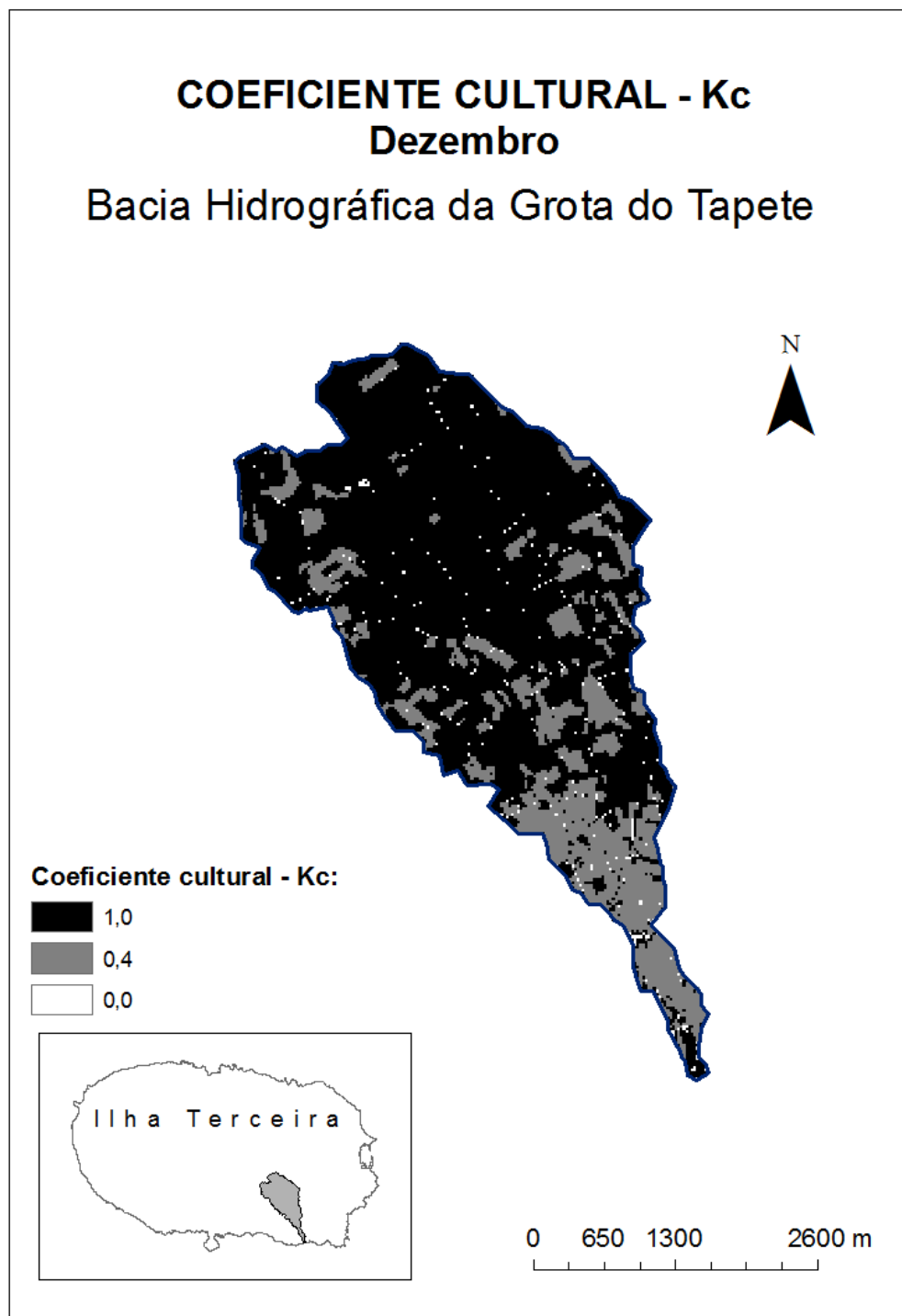


Figura 40 Carta de coeficientes culturais para o mês de Dezembro da bacia hidrográfica da Grota do Tapete.

## 6.7 EVAPOTRANSPIRAÇÃO REAL DIÁRIA DISTRIBUÍDA

Neste subcapítulo são apresentadas as cartas de evapotranspiração real diária distribuída da bacia hidrográfica da Grota do Tapete, para os dias em que o modelo MHIDRIV foi corrido.

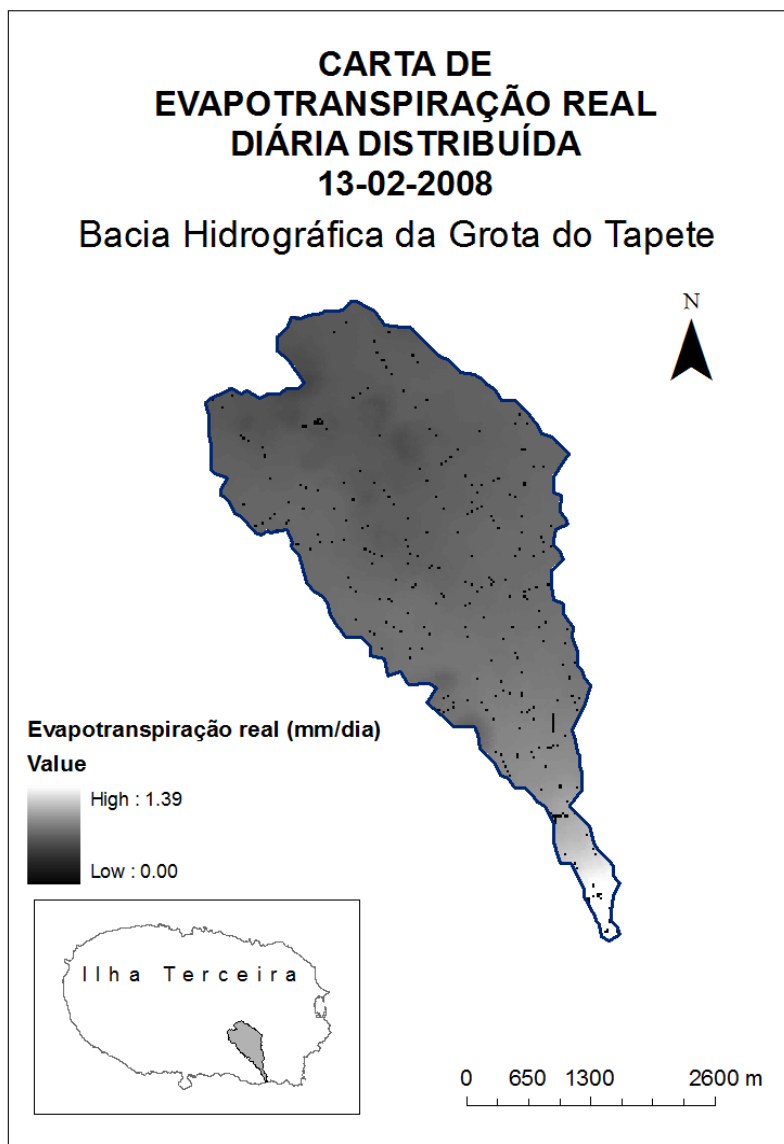


Figura 41 Carta de evapotranspiração real diária distribuída da bacia hidrográfica da Grota do Tapete, do dia 13-02-2008.

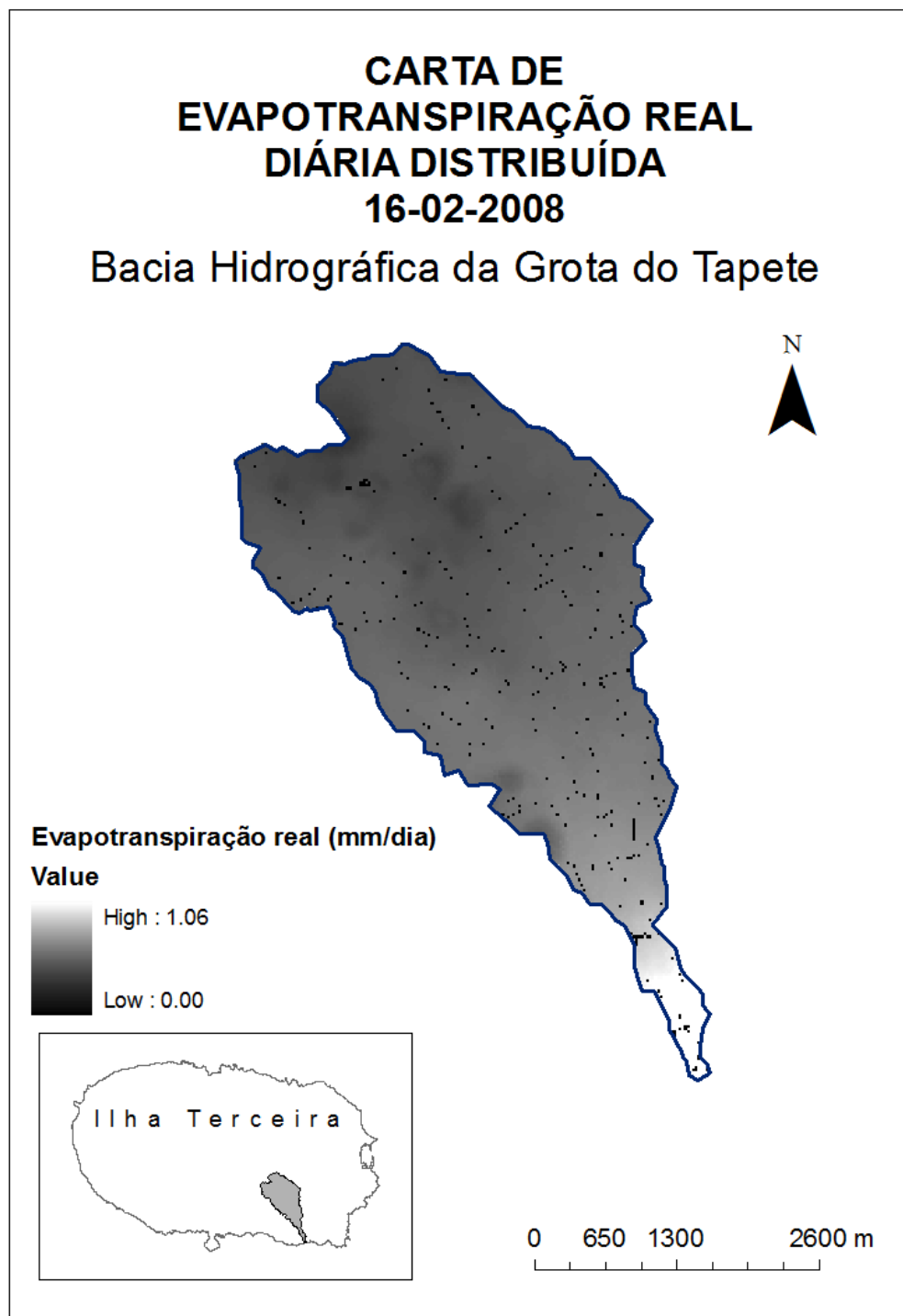


Figura 42 Carta de evapotranspiração real diária distribuída da bacia hidrográfica da Grota do Tapete, do dia 16-02-2008.

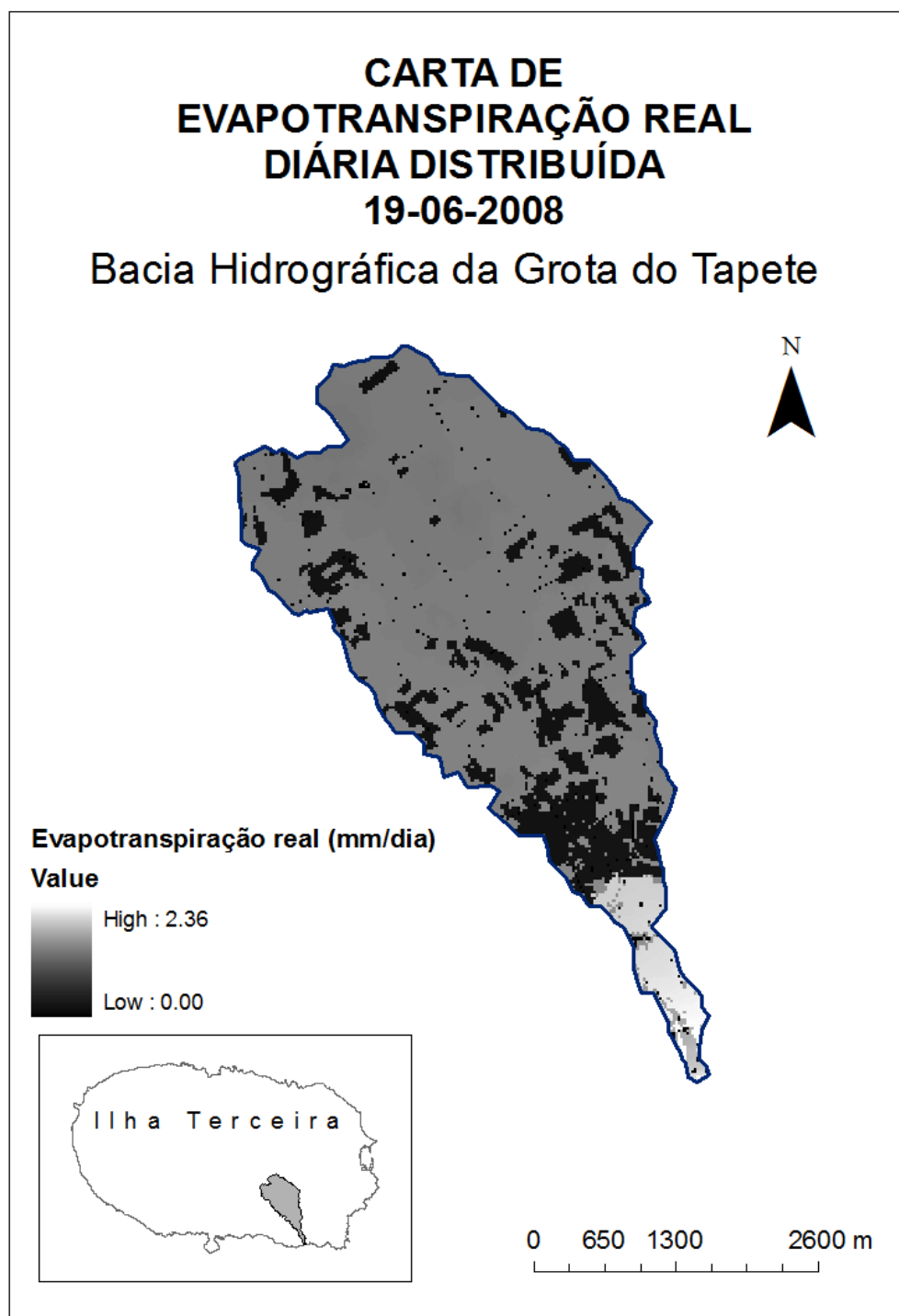


Figura 43 Carta de evapotranspiração real diária distribuída da bacia hidrográfica da Grotta do Tapete, do dia 19-06-2008.

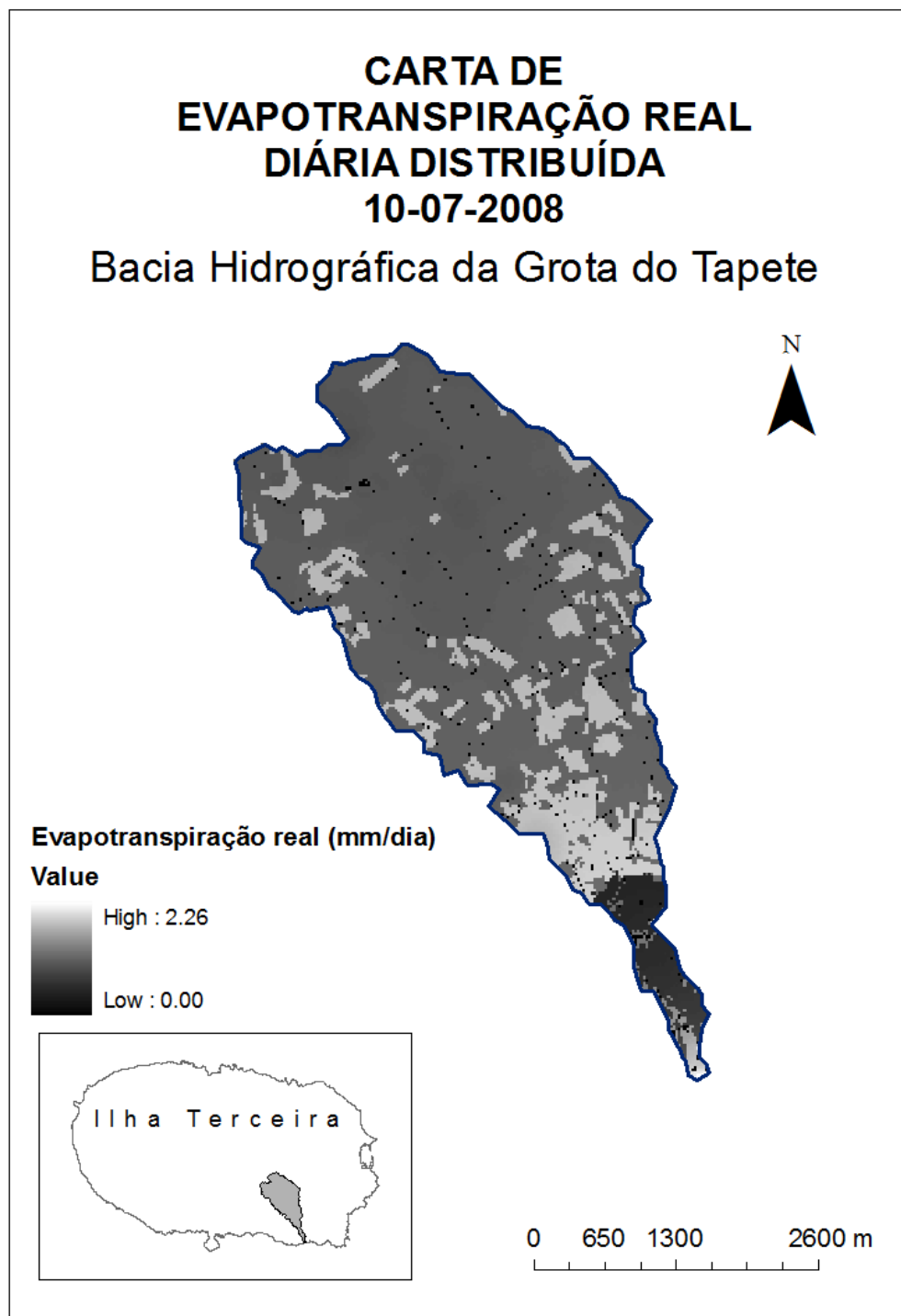


Figura 44 Carta de evapotranspiração real diária distribuída da bacia hidrográfica da Grota do Tapete, do dia 10-07-2008.

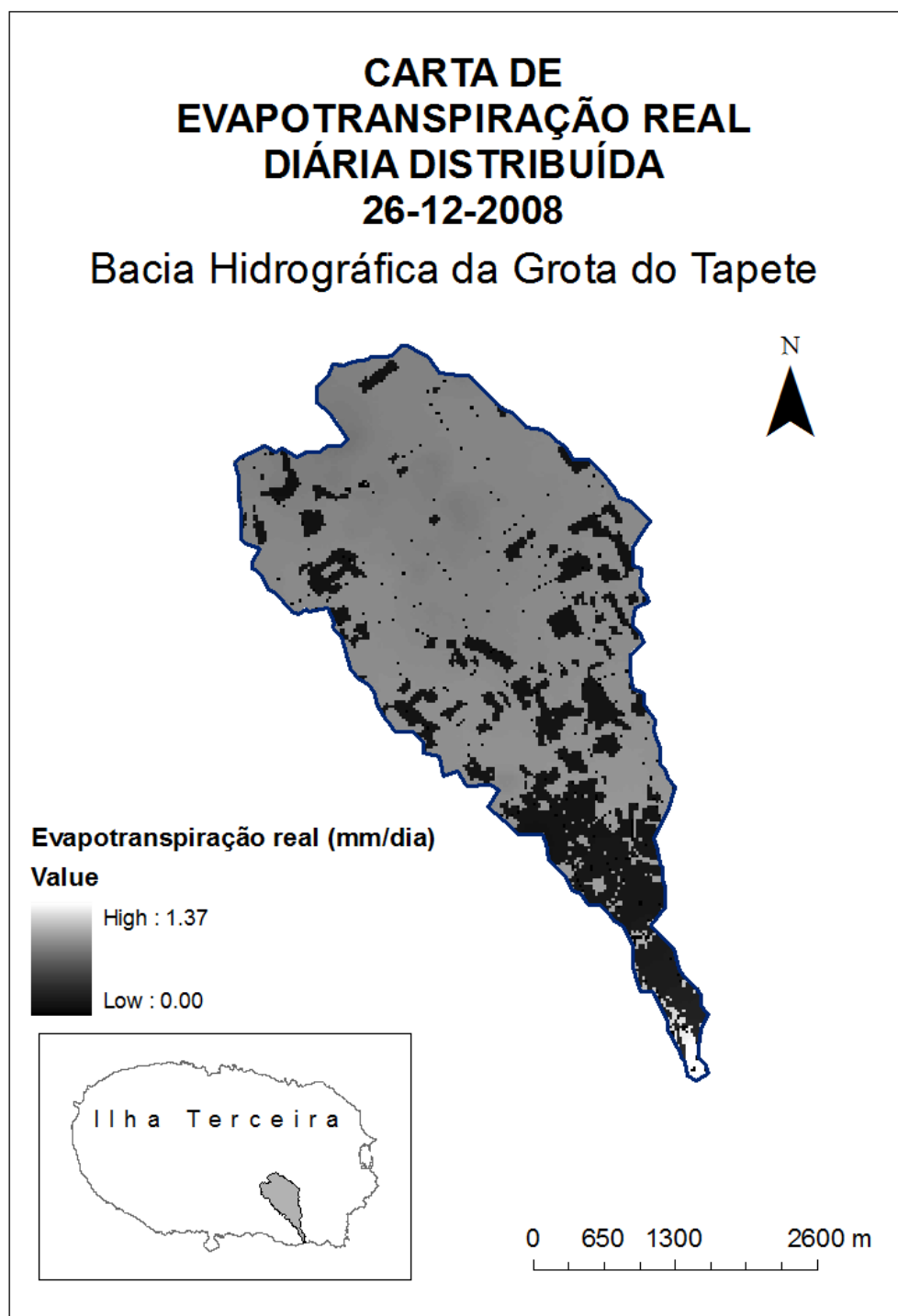


Figura 45 Carta de evapotranspiração real diária distribuída da bacia hidrográfica da Grota do Tapete, do dia 26-12-2008.

## 6.8 PRECIPITAÇÃO DIÁRIA DISTRIBUÍDA

Neste subcapítulo são apresentadas as cartas de precipitação diária distribuída da bacia hidrográfica da Grota do Tapete, para os dias em que o modelo MHIDRIV foi corrido.

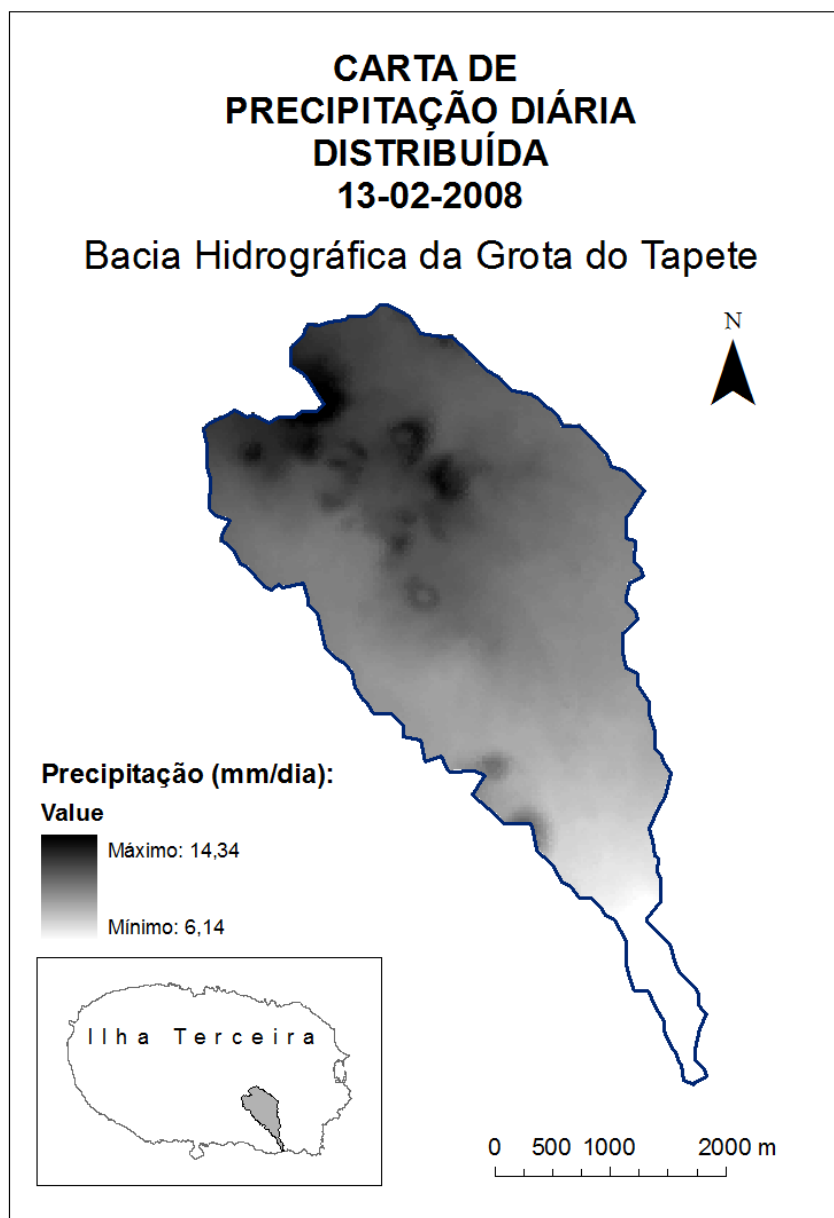


Figura 46 Carta de precipitação diária distribuída da bacia hidrográfica da Grota do Tapete, do dia 13-02-2008.

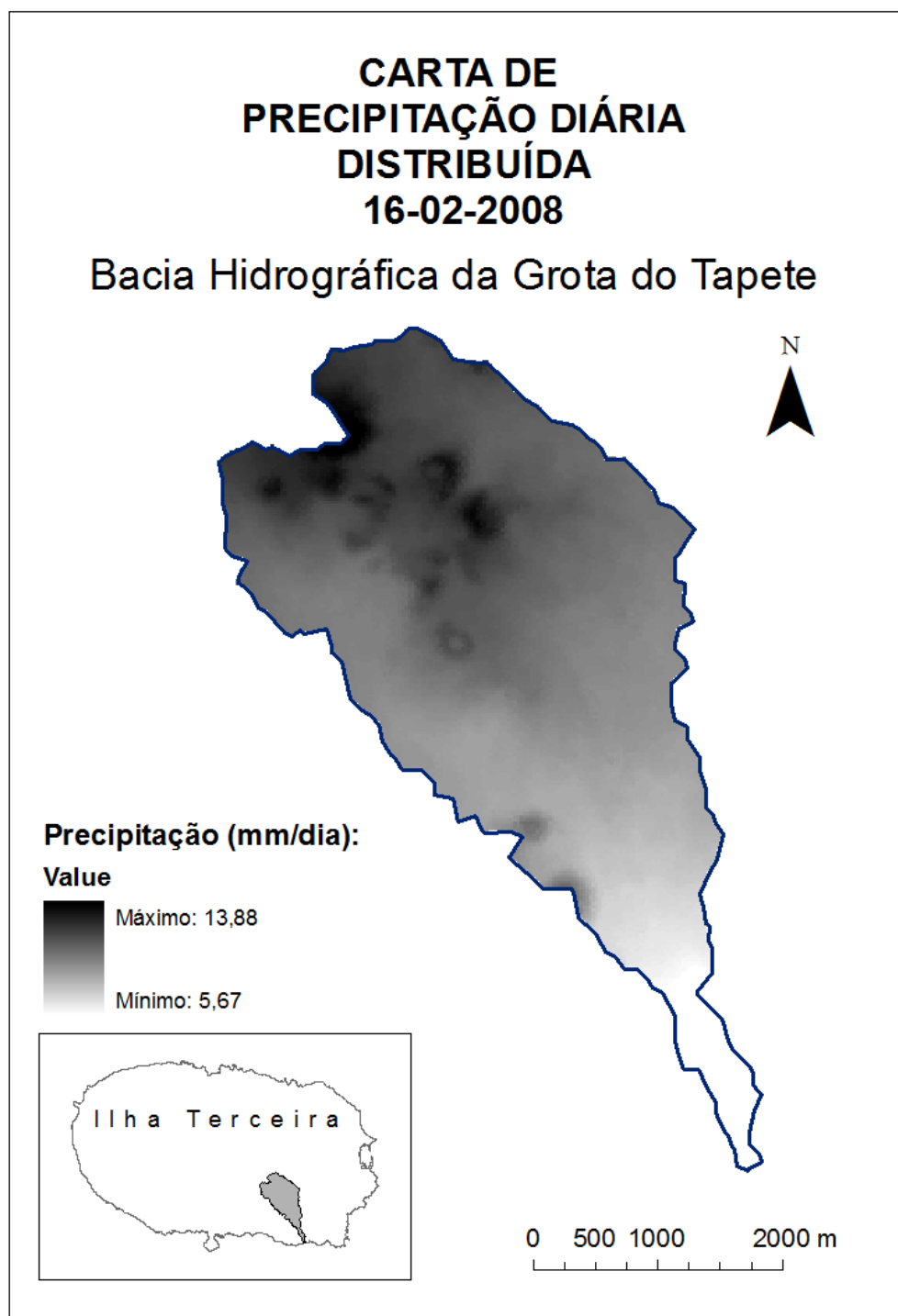


Figura 47 Carta de precipitação diária distribuída da bacia hidrográfica da Grota do Tapete, do dia 16-02-2008.

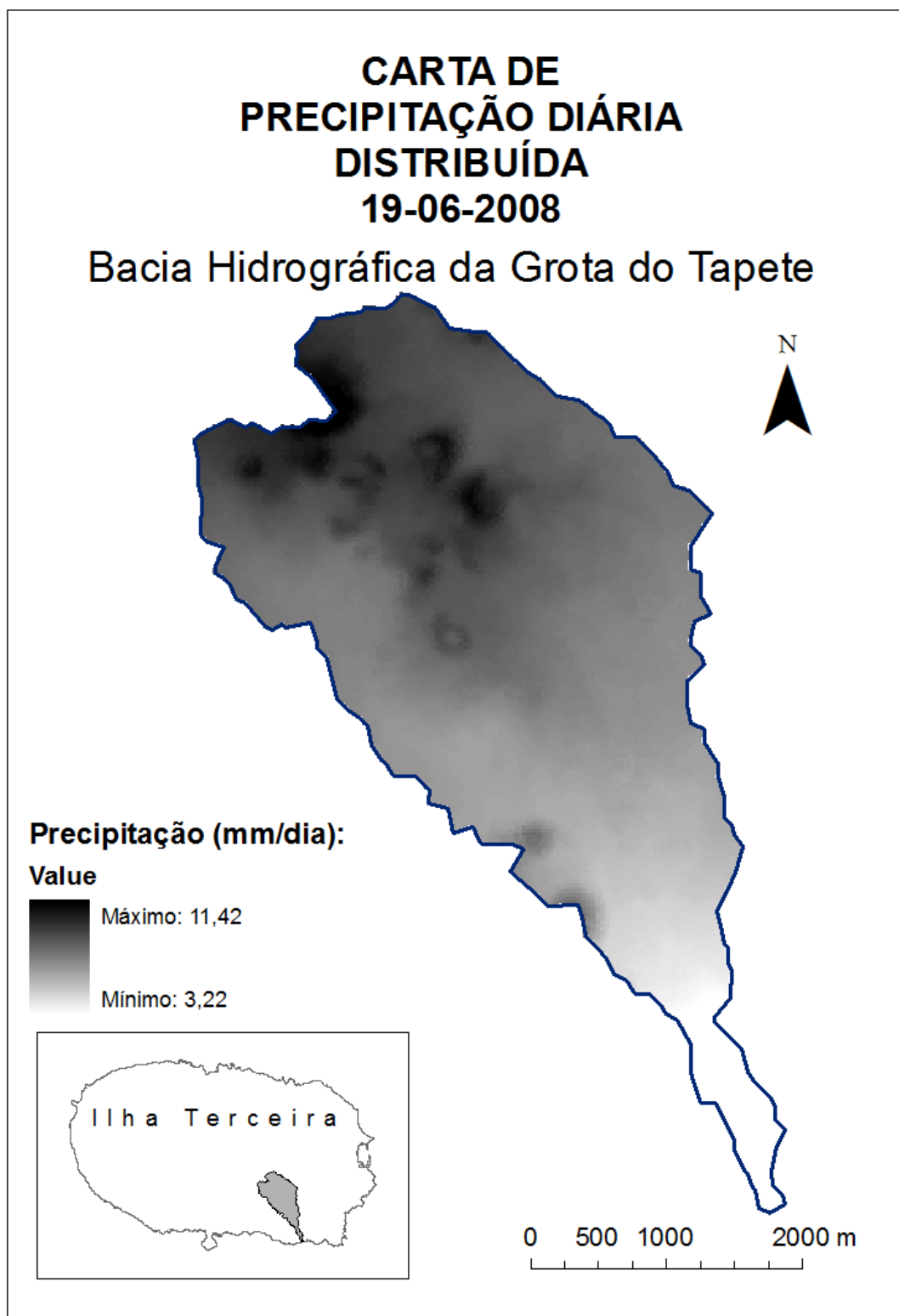


Figura 48 Carta de precipitação diária distribuída da bacia hidrográfica da Grotta do Tapete, do dia 19-06-2008.

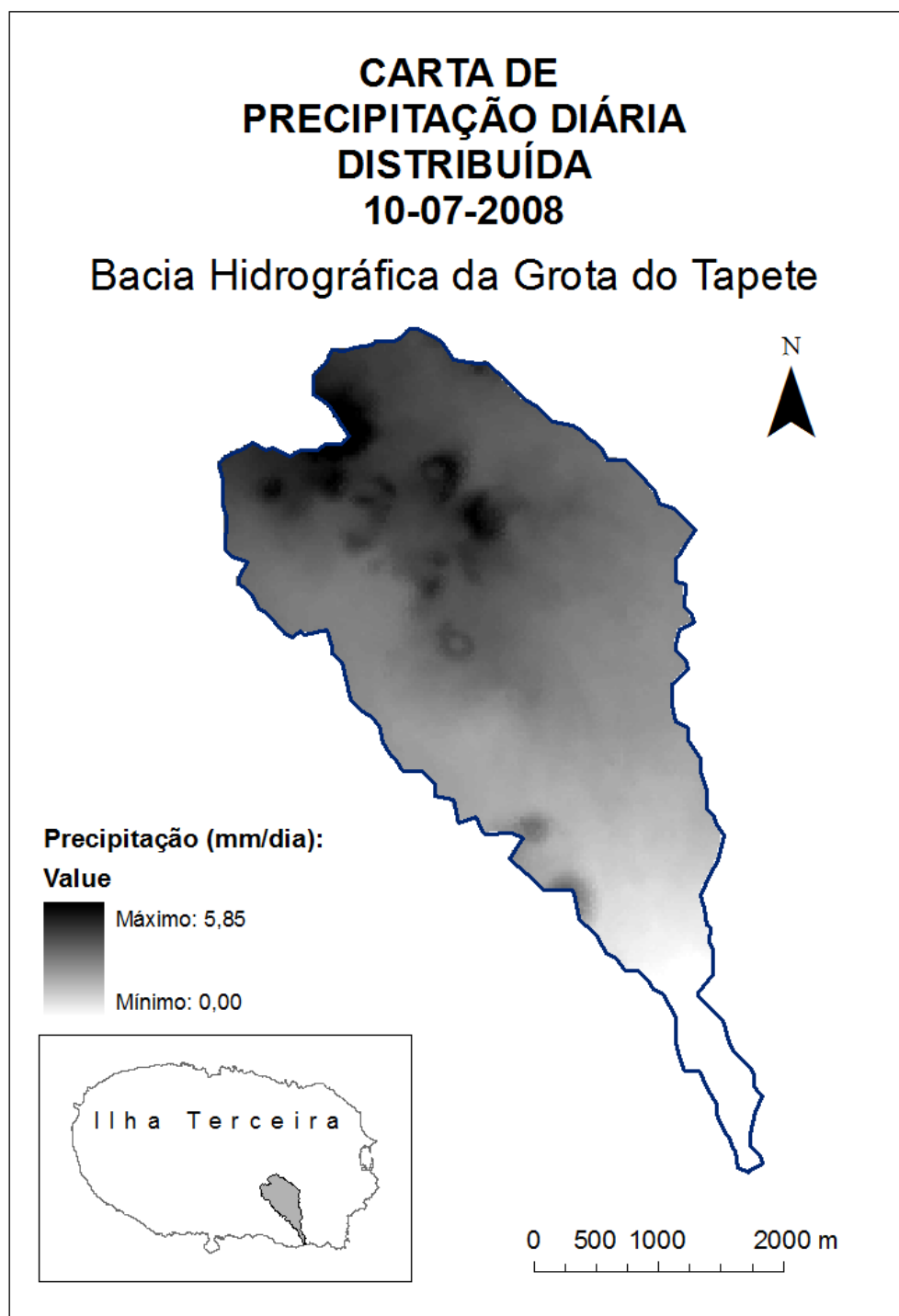


Figura 49 Carta de precipitação diária distribuída da bacia hidrográfica da Grota do Tapete, do dia 10-07-2008.

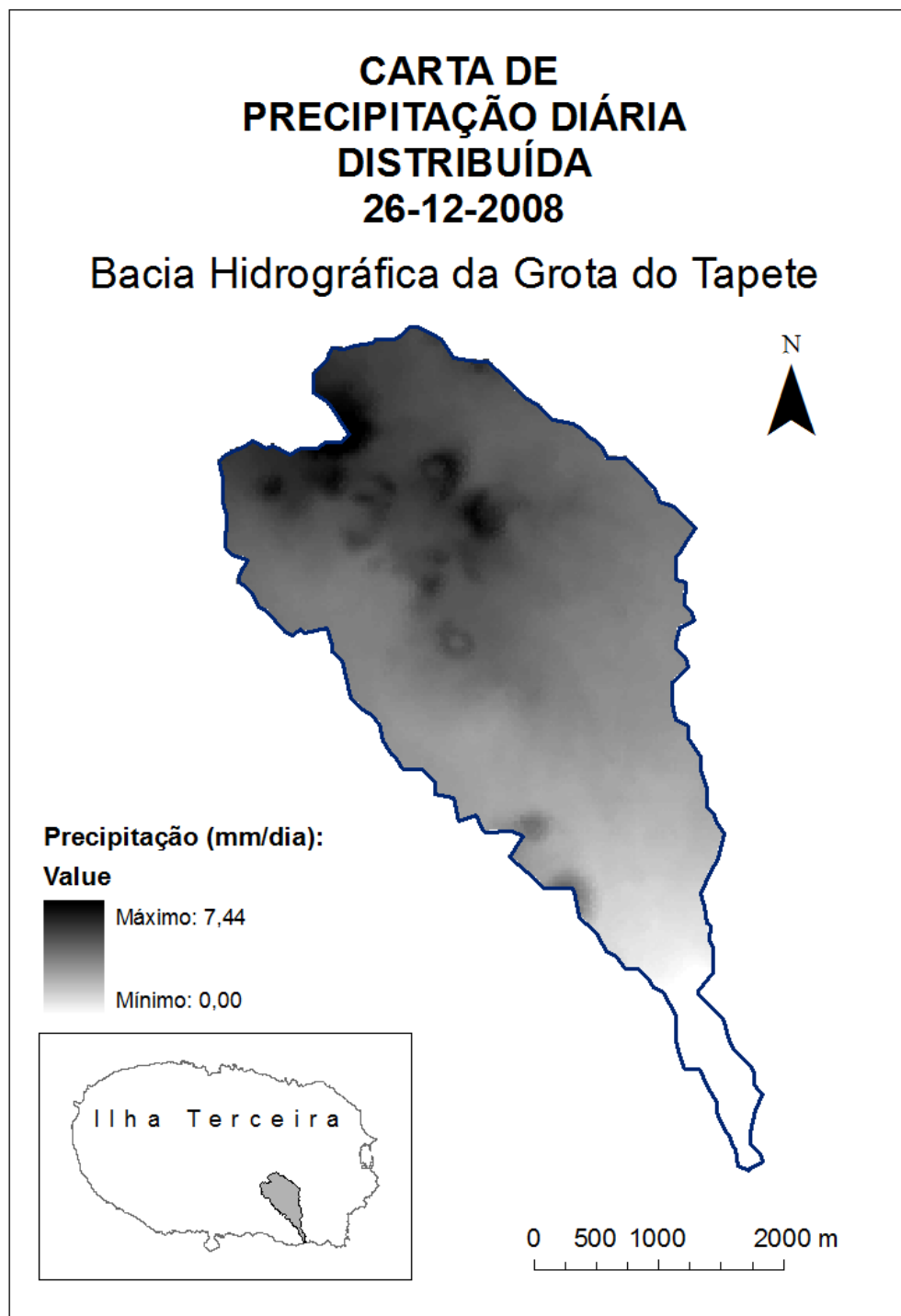


Figura 50 Carta de precipitação diária distribuída da bacia hidrográfica da Grotta do Tapete, do dia 26-12-2008.

## 6.9 NÚMEROS DE ESCOAMENTO

Neste subcapítulo são apresentadas as cartas de números de escoamento da bacia hidrográfica da Grotta do Tapete, ajustados ao declive, para os meses em que o modelo MHIDRIV foi corrido e para as situações antecedentes de humidade do solo para as quais se verificou que o modelo referido gerou valores de escoamento superficial diários mais aproximados dos valores observados.

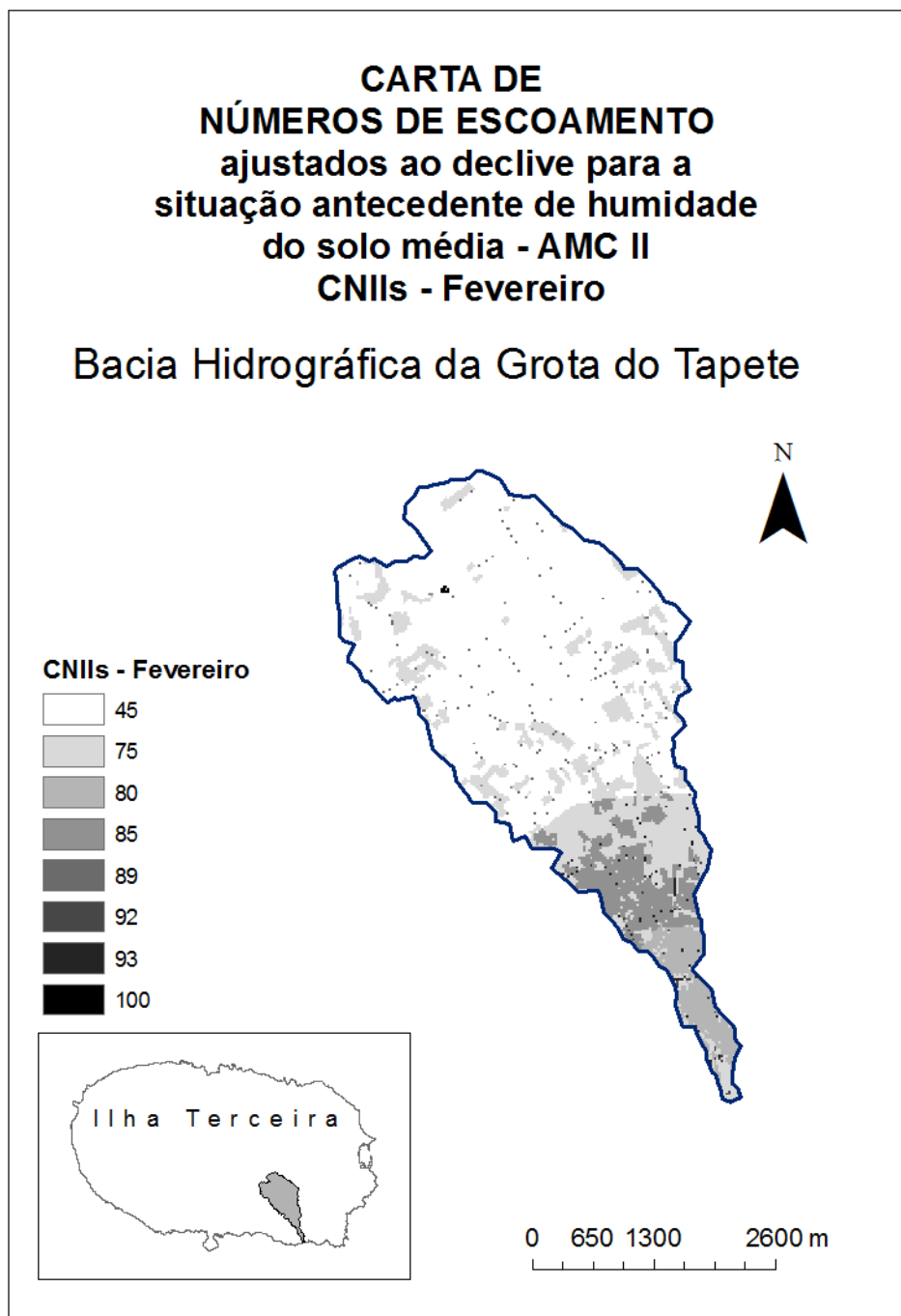


Figura 51 Carta de números de escoamento ajustados ao declive, para o mês de Fevereiro e para a situação antecedente de humidade do solo AMC II, da bacia hidrográfica da Grota do Tapete.

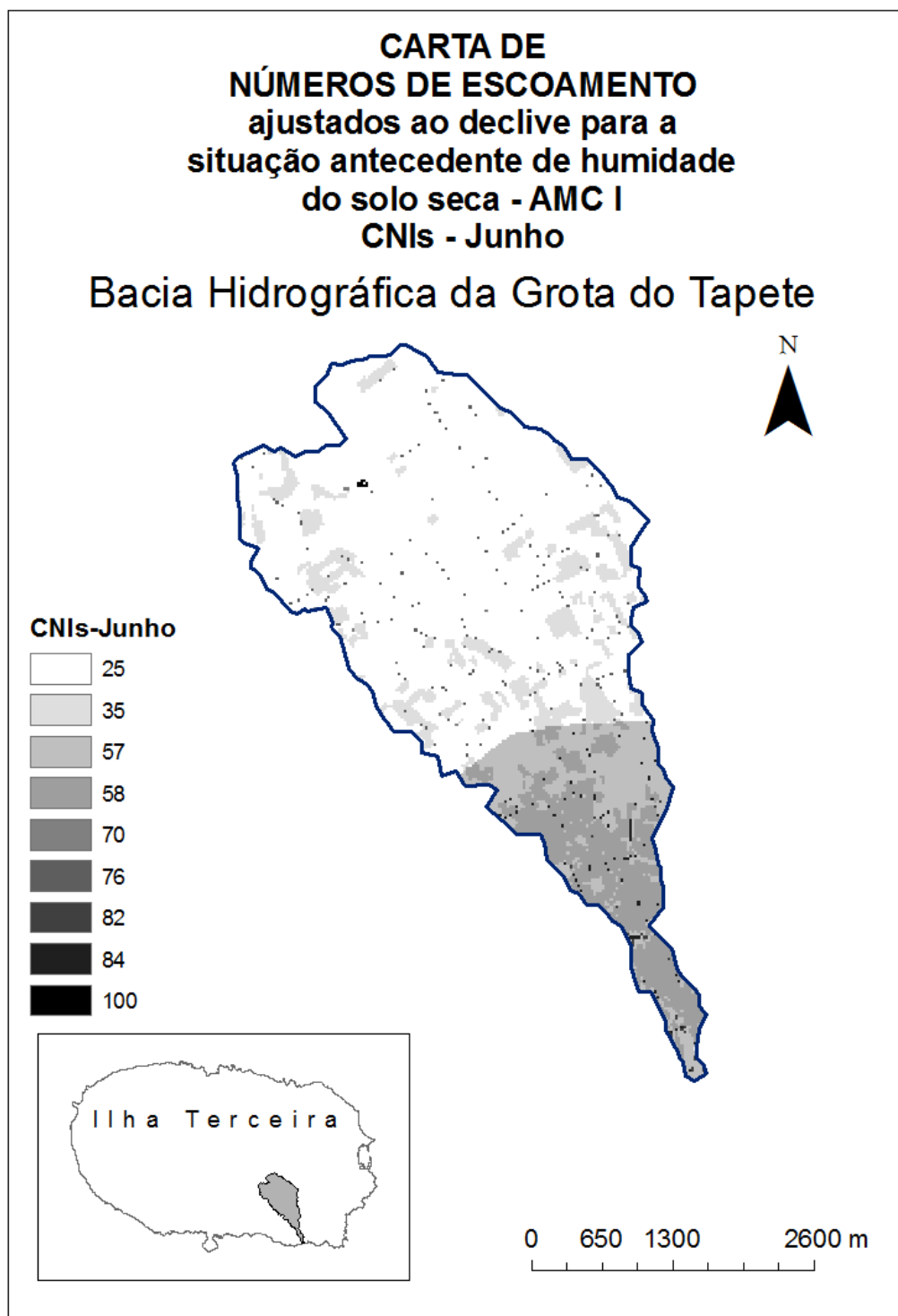


Figura 52 Carta de números de escoamento ajustados ao declive, para o mês de Junho e para a situação antecedente de humidade do solo AMC I, da bacia hidrográfica da Grota do Tapete.

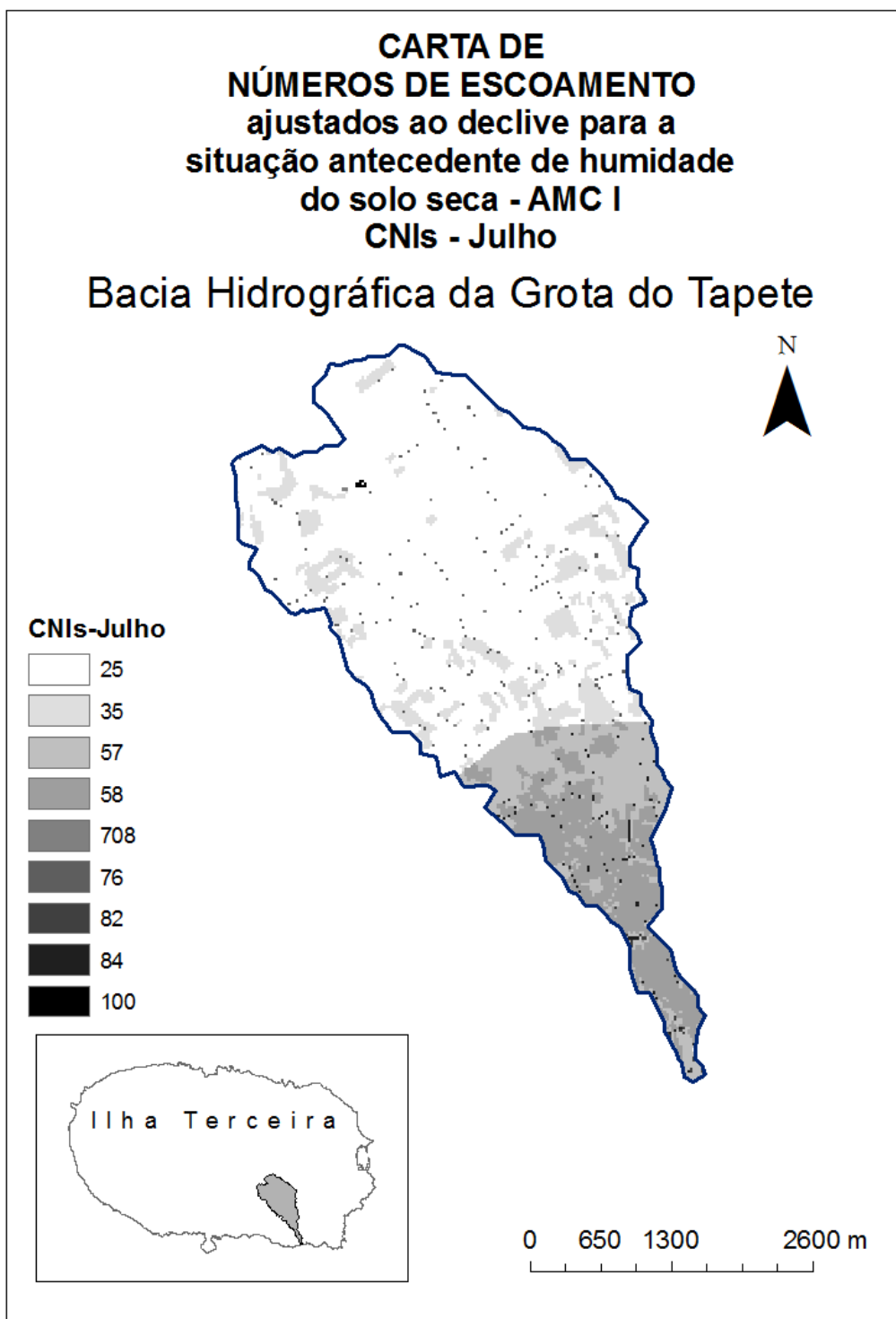


Figura 53 Carta de números de escoamento ajustados ao declive, para o mês de Julho e para a situação antecedente de humidade do solo AMC I, da bacia hidrográfica da Grota do Tapete.

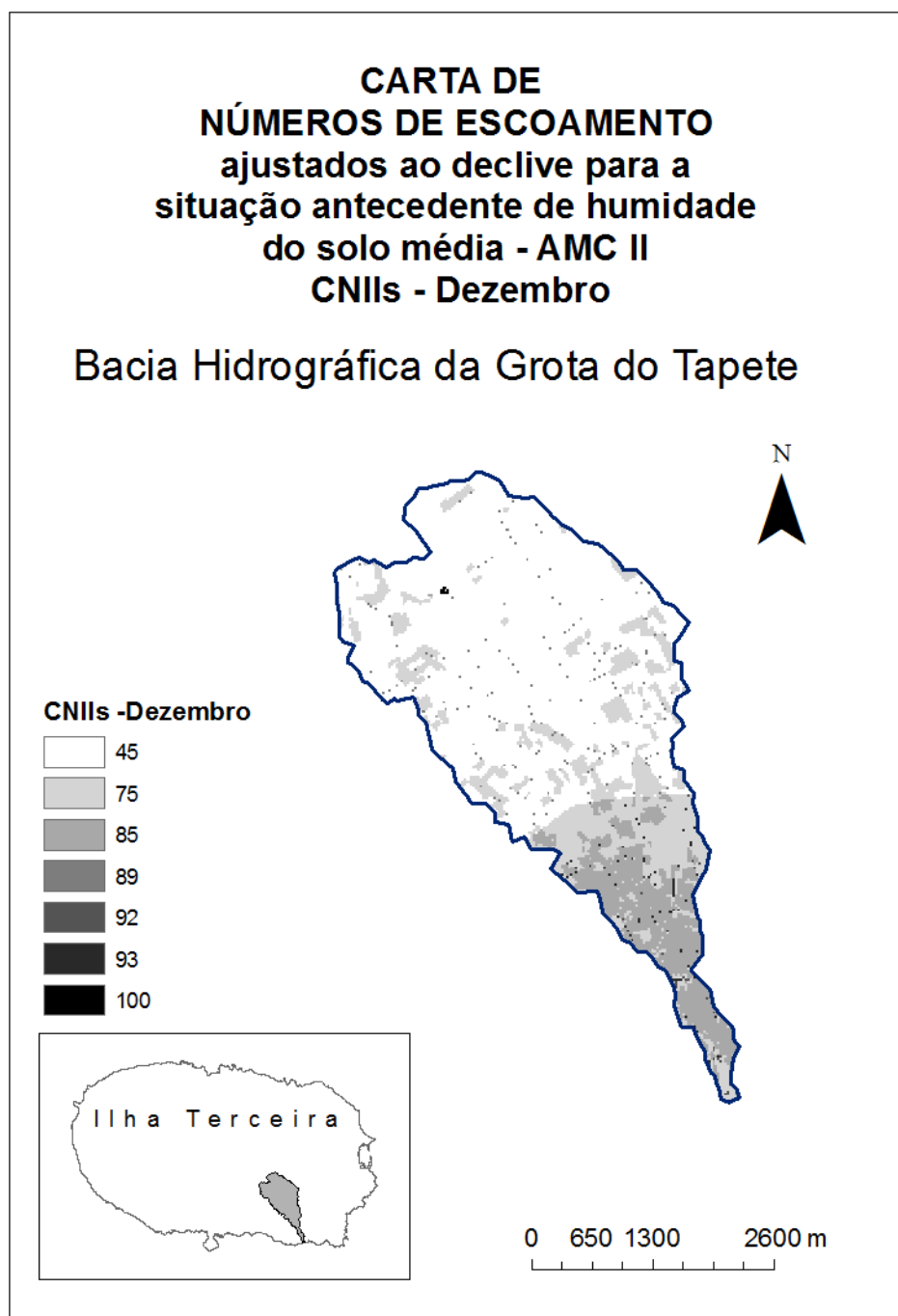


Figura 54 Carta de números de escoamento ajustados ao declive, para o mês de Dezembro e para a situação antecedente de humidade do solo AMC II, da bacia hidrográfica da Grota do Tapete.

## 6.10 ESCOAMENTO SUPERFICIAL DIÁRIO DISTRIBUÍDO

Neste subcapítulo são apresentadas as cartas de escoamento superficial diário distribuído da bacia hidrográfica da Grota do Tapete, para os dias em que o modelo MHIDRIV

## 6 RESULTADOS

foi corrido e para as situações antecedentes de humidade do solo para as quais se verificou que o modelo referido gerou valores de escoamento superficial diários mais aproximados dos valores observados.

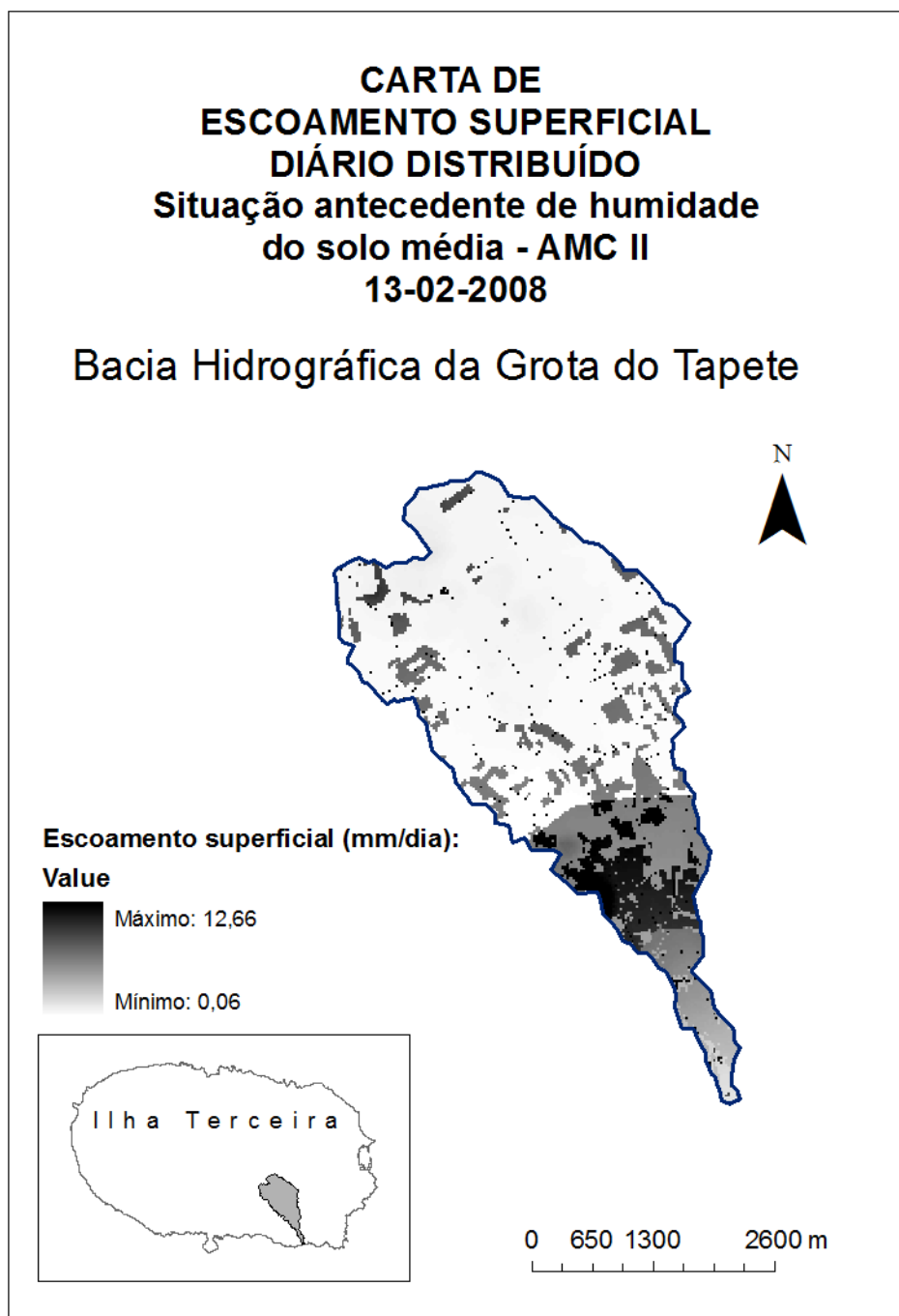


Figura 55 Carta de escoamento superficial diário distribuído da bacia hidrográfica da Grotta do Tapete, para o dia 13-02-2008 e para a situação antecedente de humidade do solo AMC II.

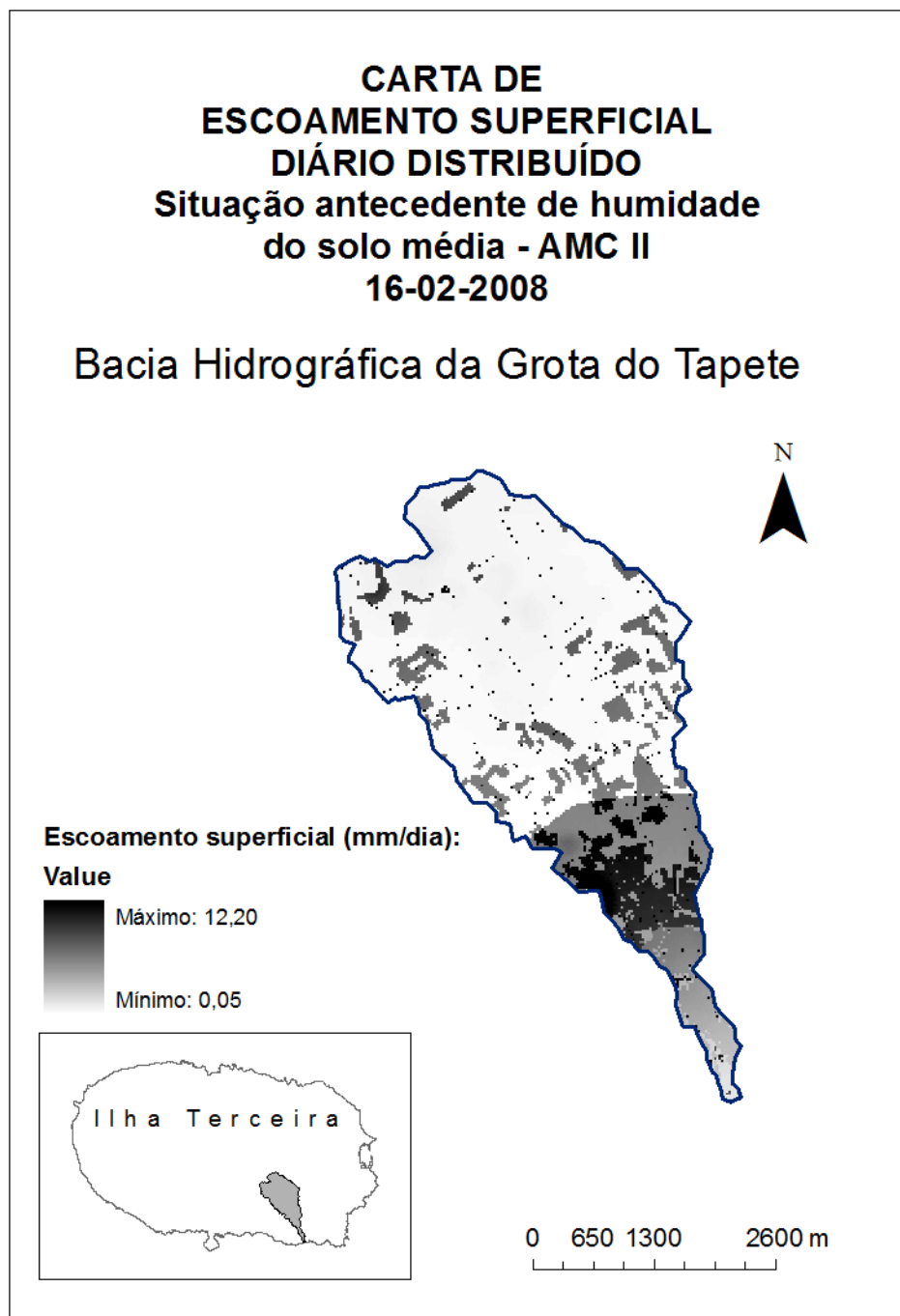


Figura 56 Carta de escoamento superficial diário distribuído da bacia hidrográfica da Grota do Tapete, para o dia 16-02-2008 e para a situação antecedente de humidade do solo AMC II.

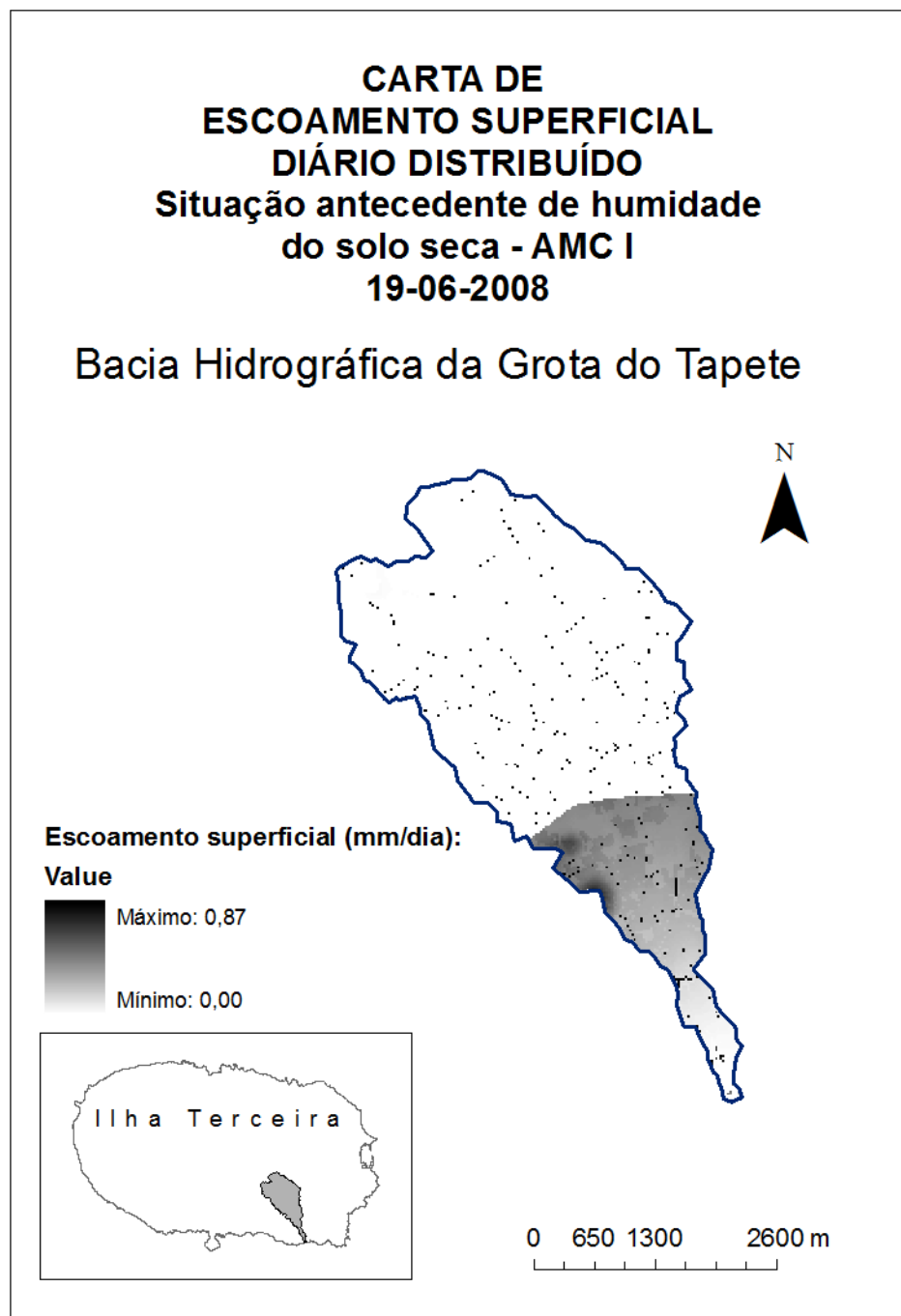


Figura 57 Carta de escoamento superficial diário distribuído da bacia hidrográfica da Grota do Tapete, para o dia 19-06-2008 e para a situação antecedente de humidade do solo AMC I.

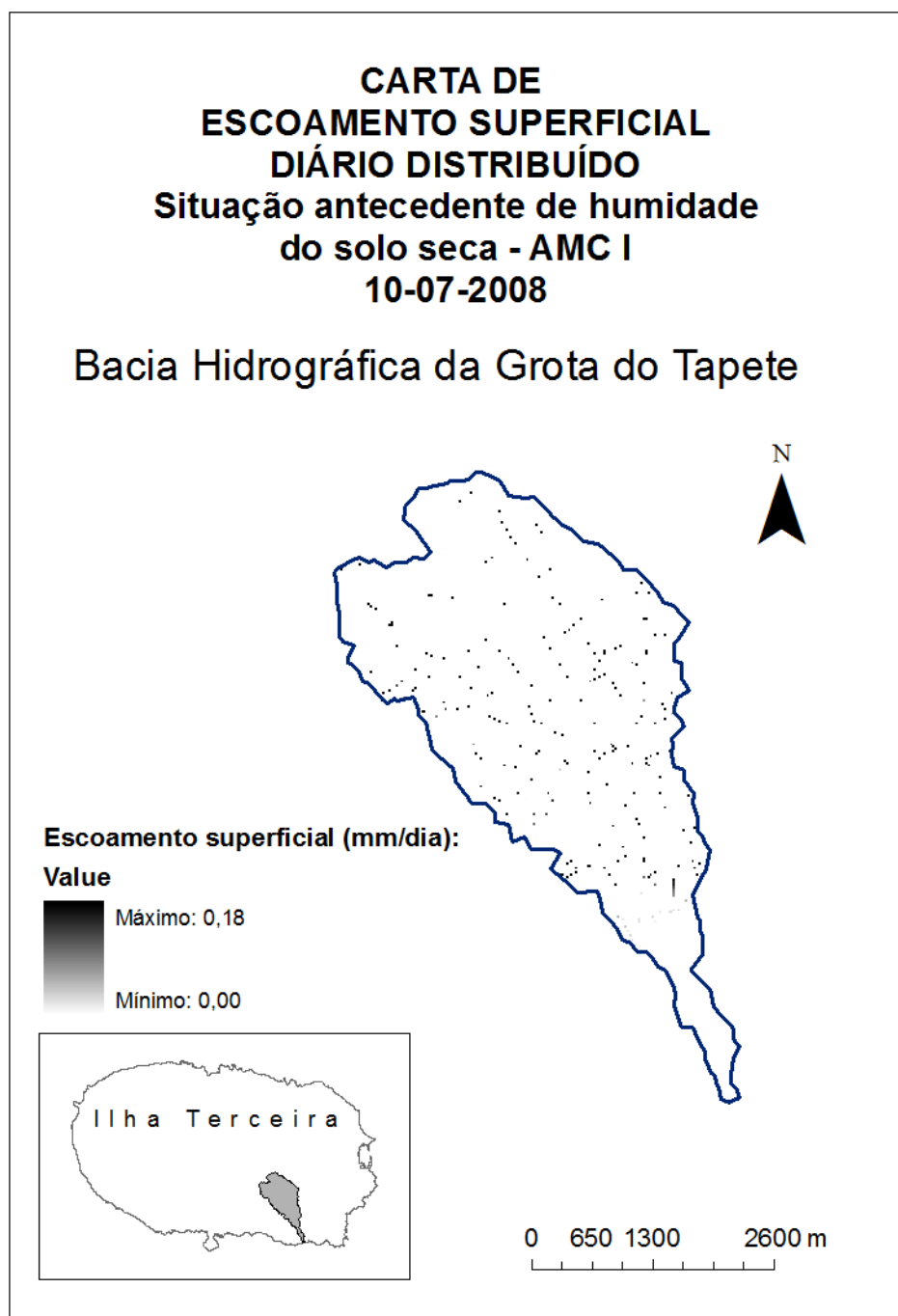


Figura 58 Carta de escoamento superficial diário distribuído da bacia hidrográfica da Grota do Tapete, para o dia 10-07-2008 e para a situação antecedente de humidade do solo AMC I.

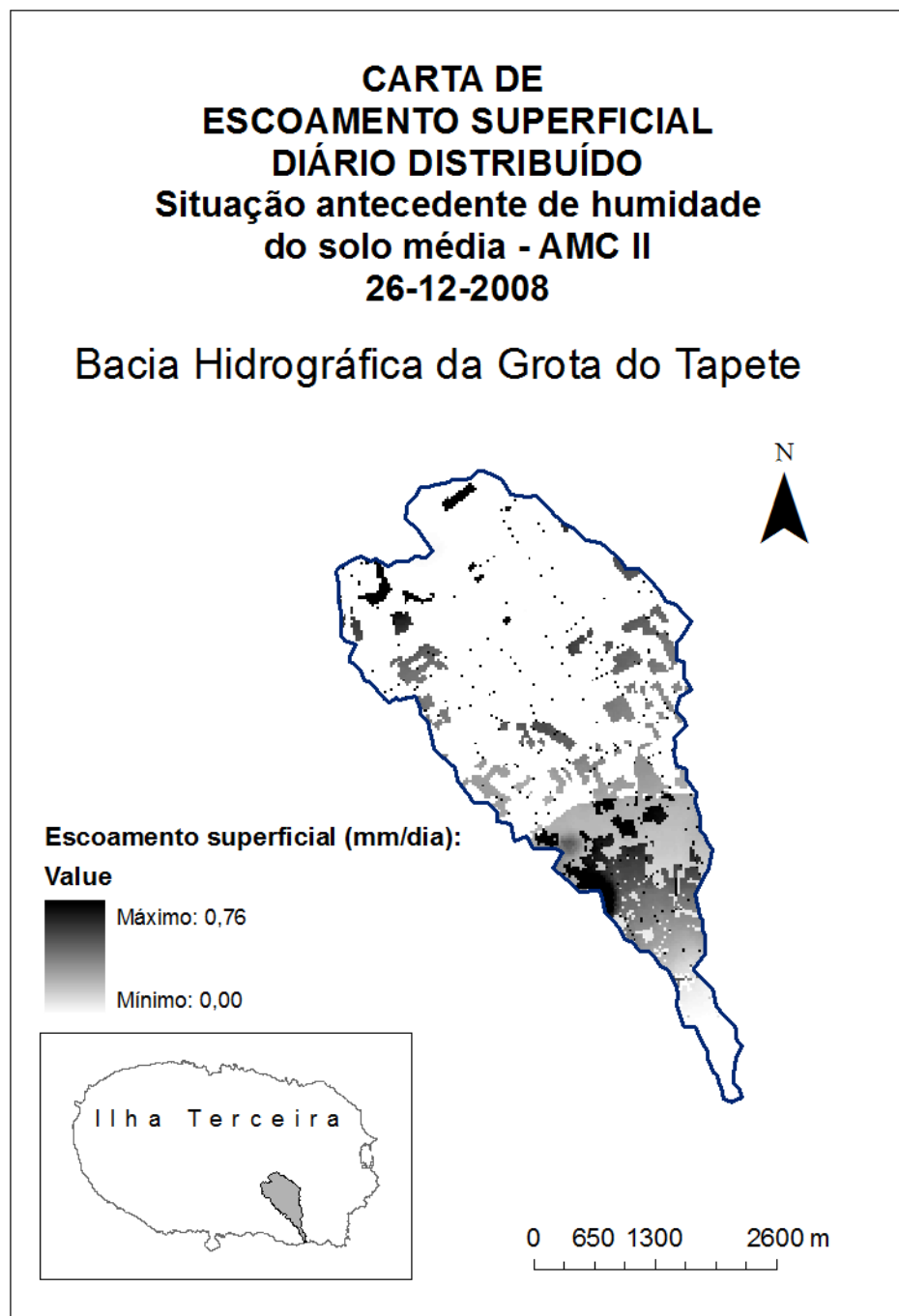


Figura 59 Carta de escoamento superficial diário distribuído da bacia hidrográfica da Grota do Tapete, para o dia 26-12-2008 e para a situação antecedente de humidade do solo AMC II.

### 6.11 INFILTRAÇÃO PROFUNDA DIÁRIA DISTRIBUÍDA

Neste subcapítulo são apresentadas as cartas de infiltração profunda diária distribuída da bacia hidrográfica da Grota do Tapete, para os dias em que o modelo MHIDRIV foi corrido

## 6 RESULTADOS

e para as situações antecedentes de humidade do solo para as quais se verificou que o modelo referido gerou valores de escoamento superficial diários mais aproximados dos valores observados.

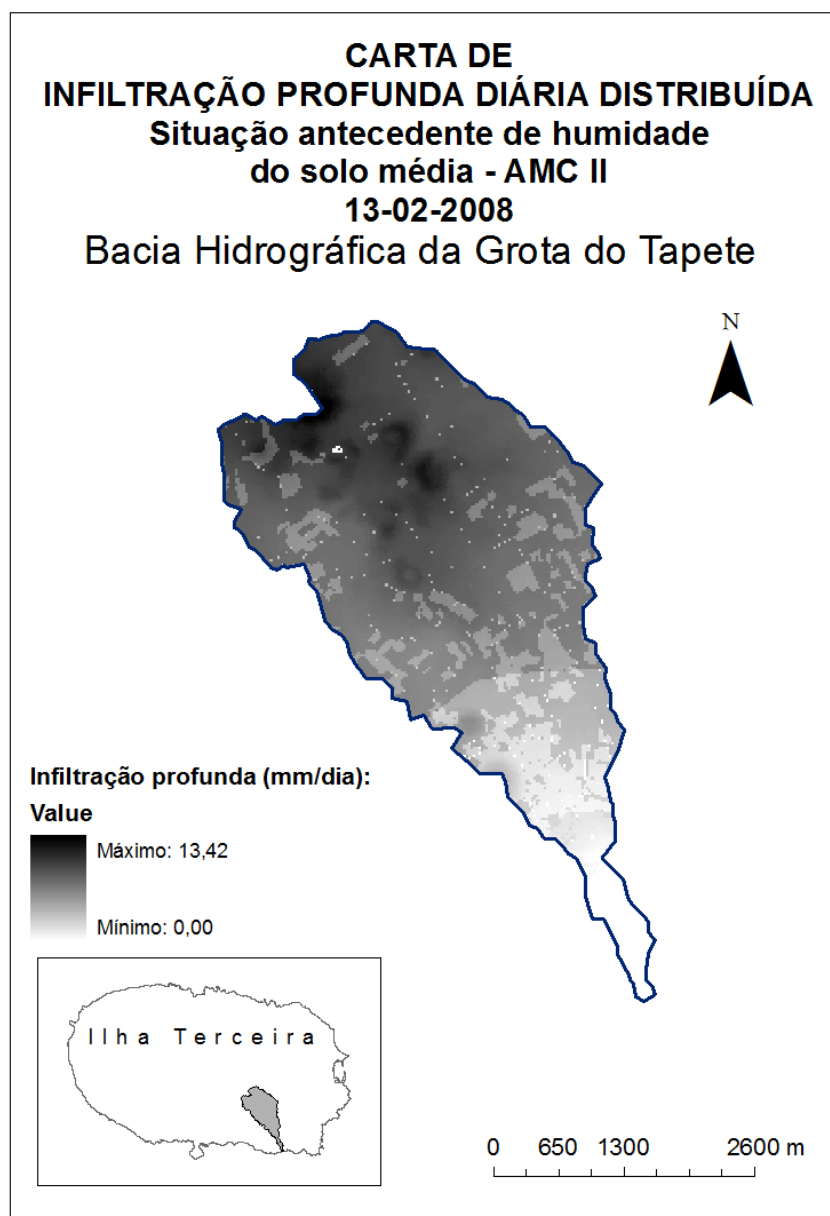


Figura 60 Carta de infiltração profunda diária distribuída da bacia hidrográfica da Grotta do Tapete, para o dia 13-02-2008 e para a situação antecedente de humidade do solo AMC II.

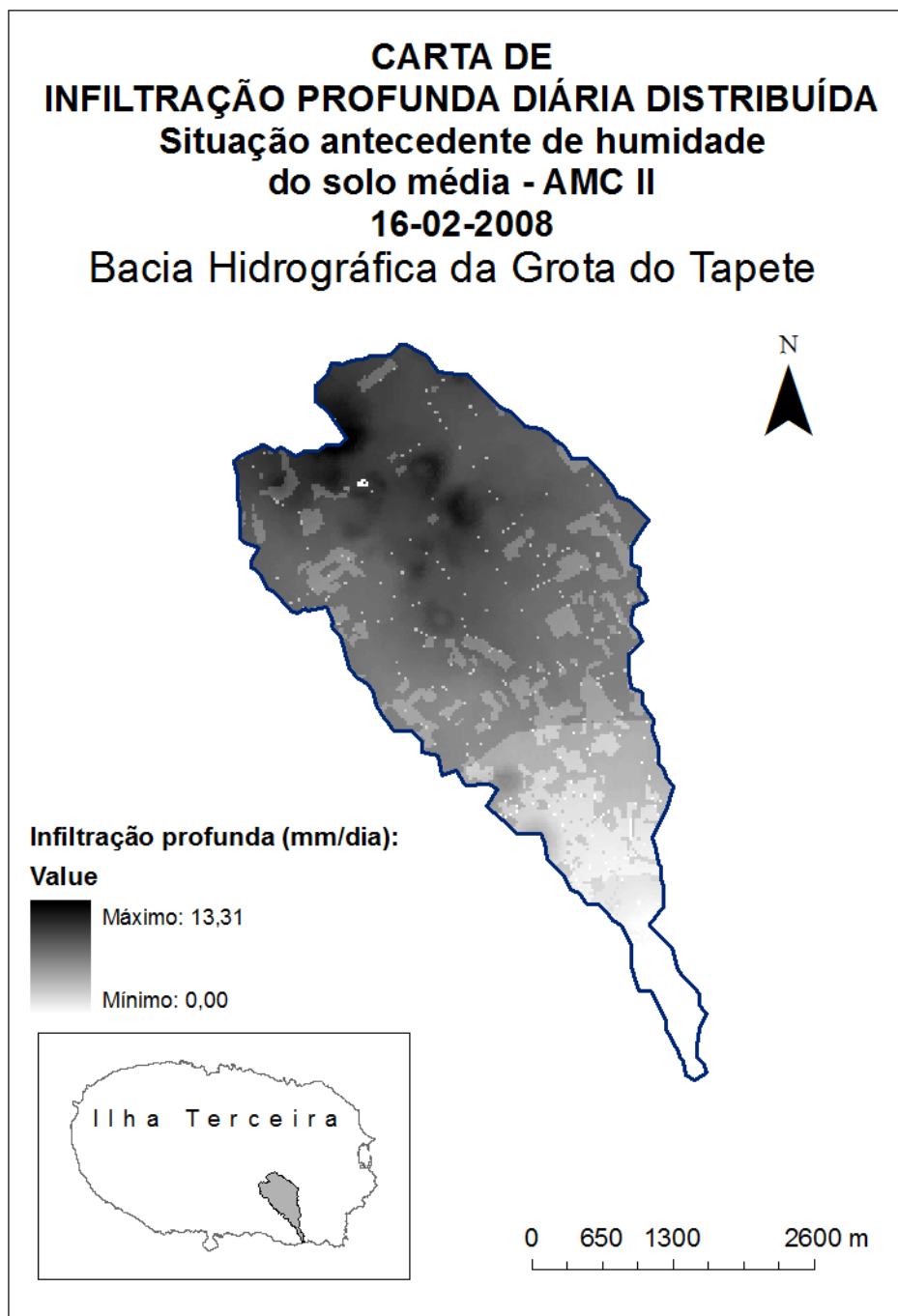


Figura 61 Carta de infiltração profunda diária distribuída da bacia hidrográfica da Grota do Tapete, para o dia 16-02-2008 e para a situação antecedente de humidade do solo AMC II.

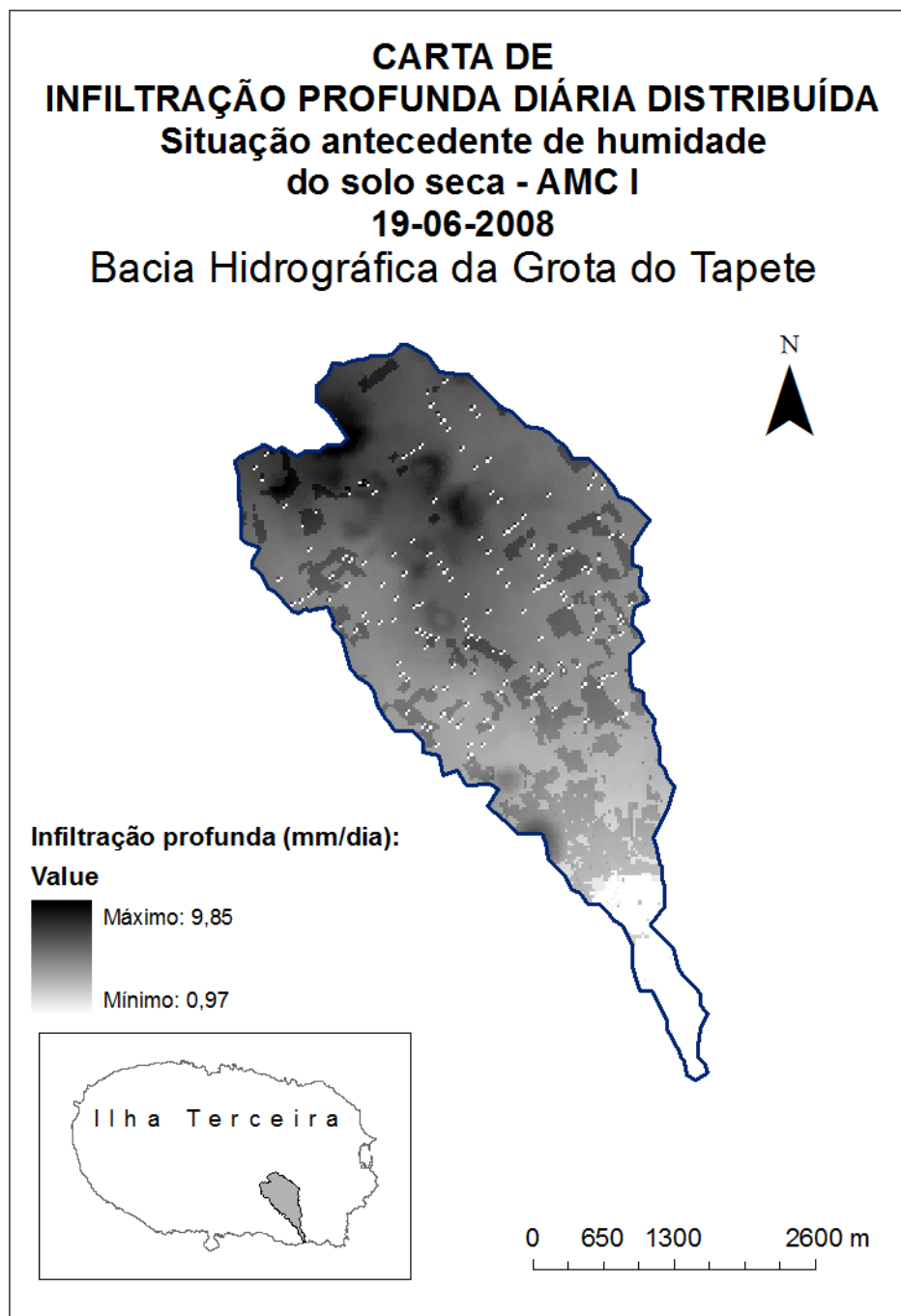


Figura 62 Carta de infiltração profunda diária distribuída da bacia hidrográfica da Grota do Tapete, para o dia 19-06-2008 e para a situação antecedente de humidade do solo AMC I.

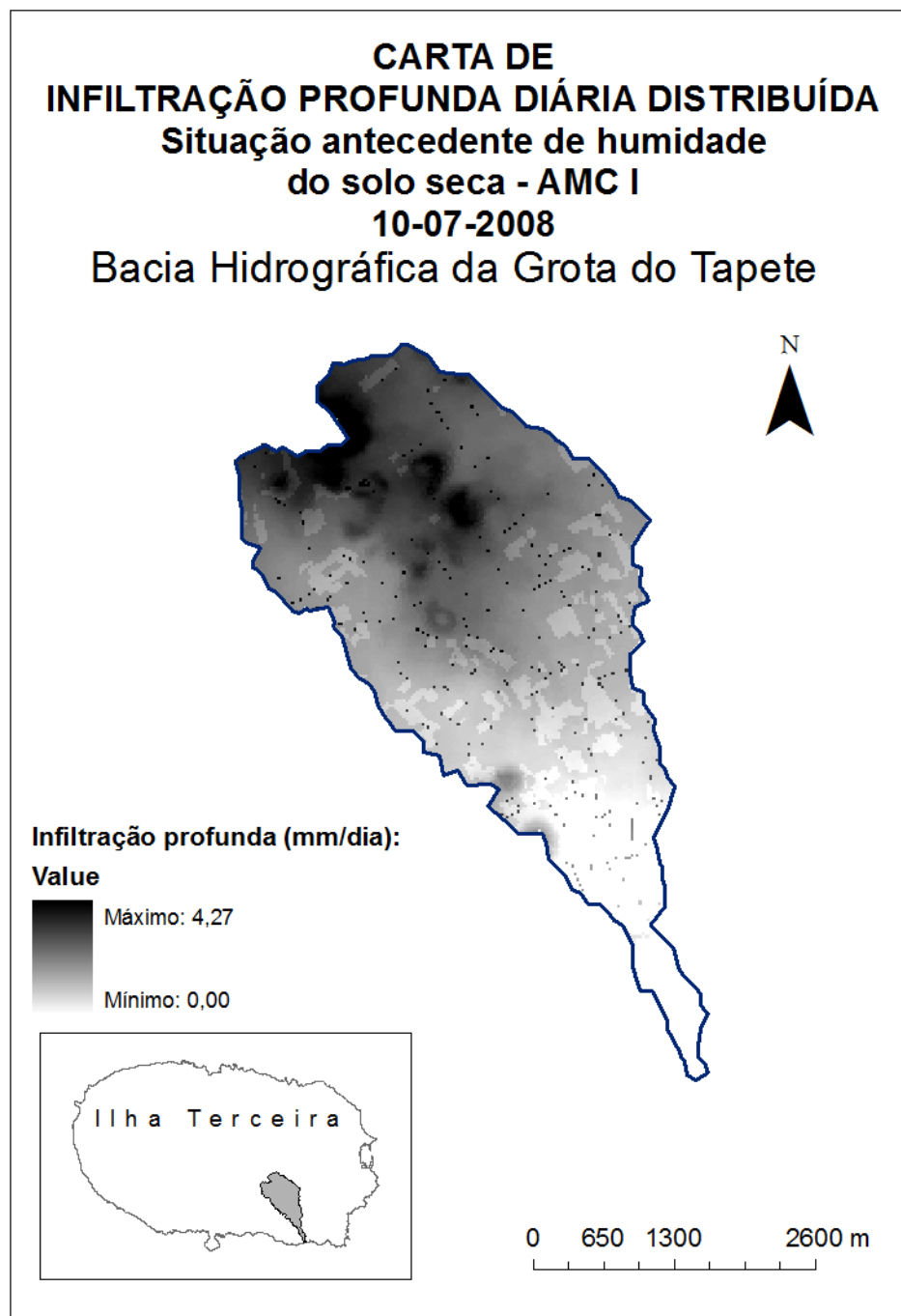


Figura 63 Carta de infiltração profunda diária distribuída da bacia hidrográfica da Grota do Tapete, para o dia 10-07-2008 e para a situação antecedente de humidade do solo AMC I.

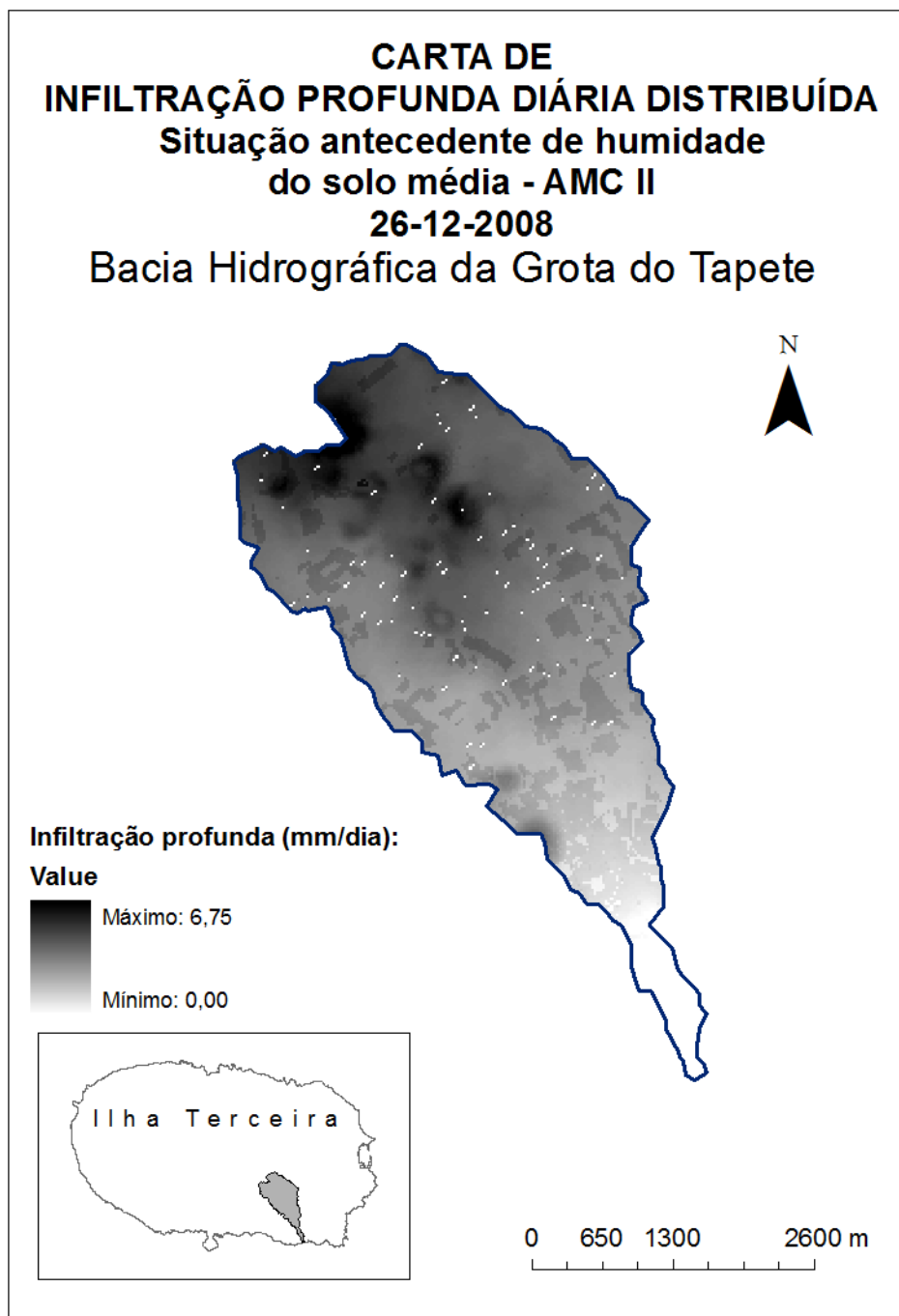


Figura 64 Carta de infiltração profunda diária distribuída da bacia hidrográfica da Grota do Tapete, para o dia 26-12-2008 e para a situação antecedente de humidade do solo AMC II.

## 6.12 GEOLOGIA E TECTÓNICA

Neste subcapítulo é apresentada a carta geológica adaptada de Lloyd e Collis (1981), que denota a ausência de falhas geológicas importantes na zona de estudo, e o gráfico de áreas das formações geológicas, da bacia hidrográfica da Grota do Tapete.

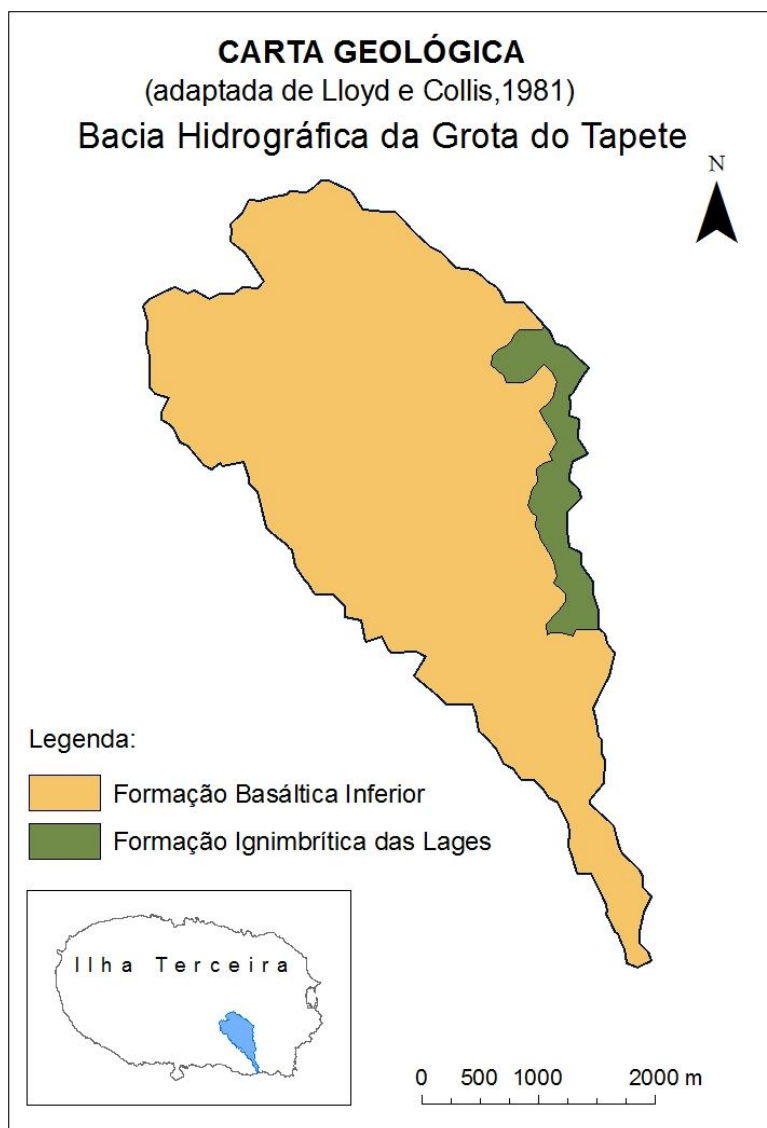


Figura 65 Carta geológica da bacia hidrográfica da Grota do Tapete (adaptada de Lloyd e Collis, 1981).

## 6 RESULTADOS

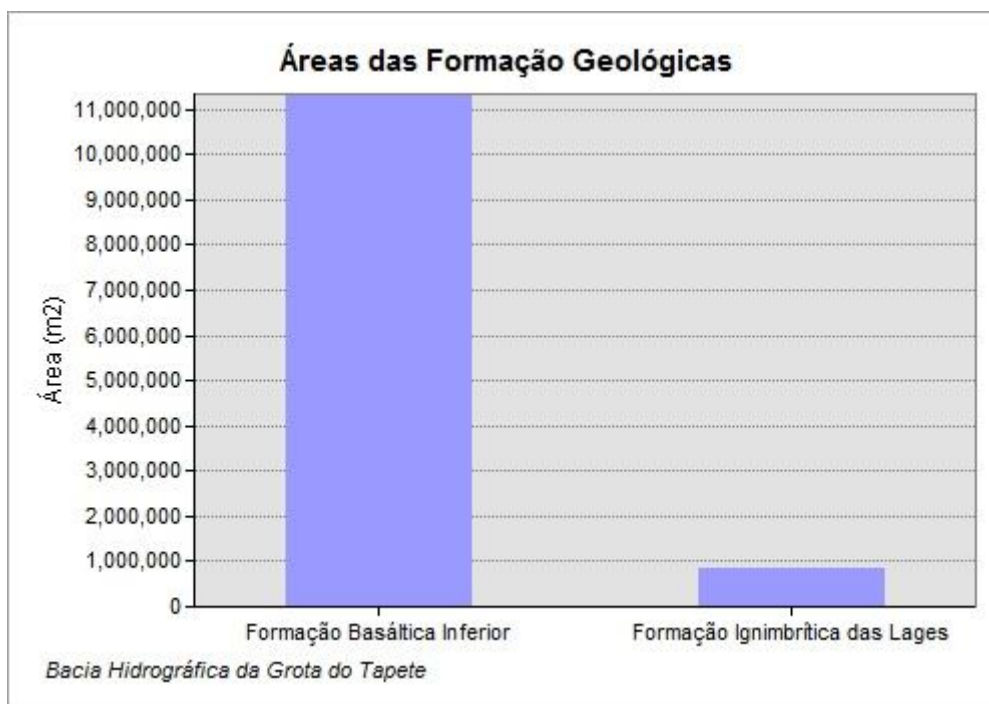


Gráfico 59 Áreas, por formação geológica, da bacia hidrográfica da Grota do Tapete.

### 6.13 BALANÇO HÍDRICO

O balanço hídrico em função da infiltração profunda, tem como *input* a precipitação e como *outputs* a evapotranspiração real e o escoamento superficial.

No decurso deste trabalho, foi efetuada uma avaliação quantitativa destes parâmetros hidrometeorológicos e da evapotranspiração de referência, distribuídos para a bacia hidrográfica da Grota do Tapete.

Na tabela seguinte (Tabela 17) são apresentados os resultados da quantificação acima referida, bem como os valores observados/simulados e os obtidos através do modelo MHIDRIV na estação da Granja, dado que esta se localizada dentro da bacia supramencionada.

6 RESULTADOS

Data	Precipitação diária (mm)		Evapotranspiração de referência (mm dia <sup>-1</sup> )		Evapotranspiração real (mm dia <sup>-1</sup> )	Escoamento superficial diário (mm)		Infiltração profunda (mm dia <sup>-1</sup> )	
	Precipitação diária observada - Granja	Precipitação diária - modelo calibrado e validado - Granja	Simulada - Granja	Modelo calibrado e validado - Granja	Modelo - Granja	Observado - Granja	Modelo calibrado e validado - Granja	Calculada com base nos parâmetros observados e ET <sub>0</sub> simulada - Granja	Calculada com base nos valores obtidos através do modelo - Granja
13-02-2008	12,80	12,49	0,61	0,75	0,75	0,20	0,12	11,85	11,62
16-02-2008	12,10	12,00	0,32	0,42	0,42	0,15	0,11	11,53	11,47
19-06-2008	8,40	9,60	1,36	1,61	1,61	0,00	0,00	6,79	7,99
10-07-2008	0,00	4,00	1,36	1,62	1,62	0,00	0,00	-1,62	2,38
26-12-2008	2,40	5,60	0,59	0,73	0,72	0,00	0,00	1,68	4,88

Tabela 17 Precipitação diária, evapotranspiração de referência diária, evapotranspiração real diária, escoamento superficial diário e infiltração profunda diária: valores observados/simulados e valores resultantes da aplicação do modelo MHIDRIV.

## 6 RESULTADOS

## 7 REPERCUSSÕES

Os gráficos seguintes (Gráfico 60, Gráfico 61, Gráfico 62, Gráfico 63 e Gráfico 64) apresentam os balanços hídricos efetuados com os valores observados/simulados e os obtidos através do modelo MHIDRIV, para a estação da Granja, para cada um dos dias em o modelo referido foi corrido.

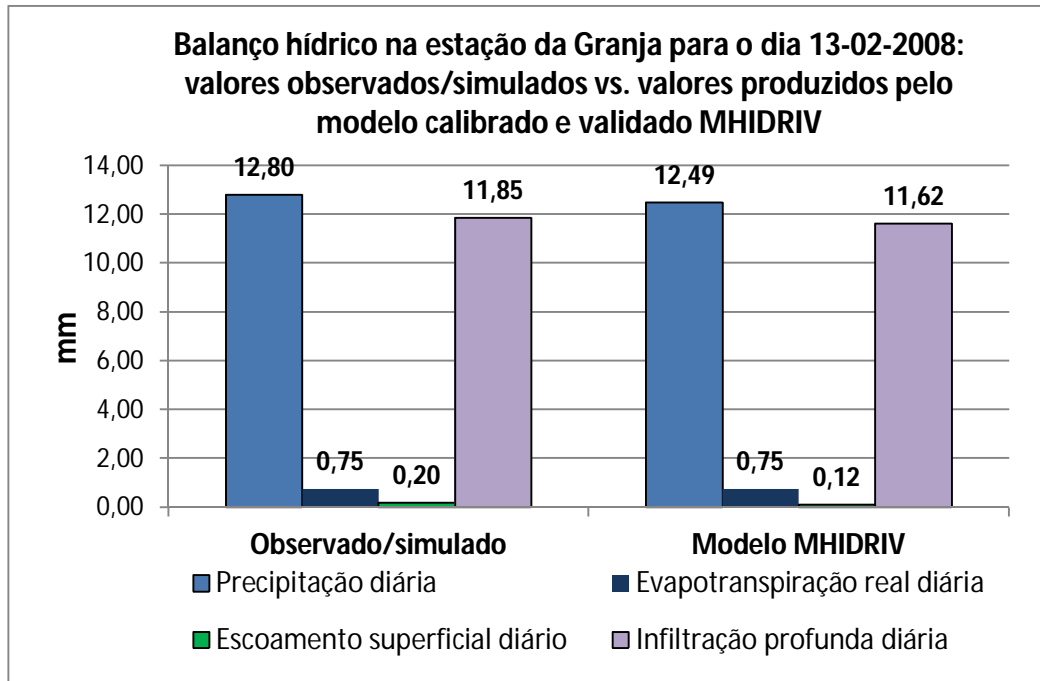


Gráfico 60 Balanço hídrico na estação da Granja no dia 13-02-2008: valores observados/simulados vs. Valores produzidos pelo modelo MHIDRIV.

## 7 REPERCUSSÕES

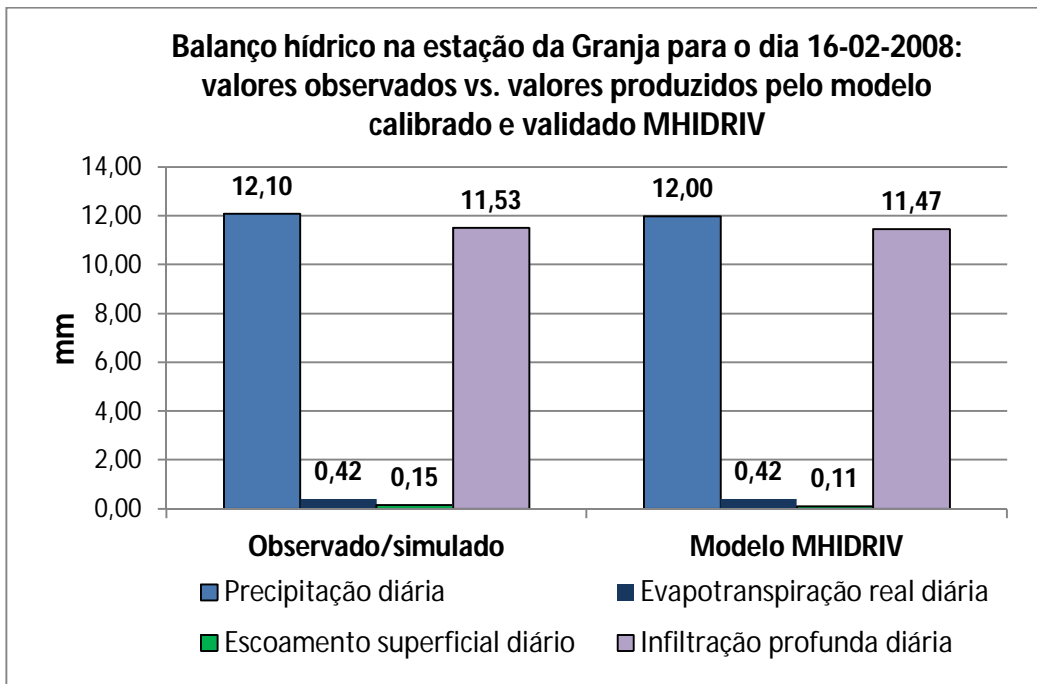


Gráfico 61 Balanço hídrico na estação da Granja no dia 16-02-2008: valores observados/simulados vs. Valores produzidos pelo modelo MHIDRIV.

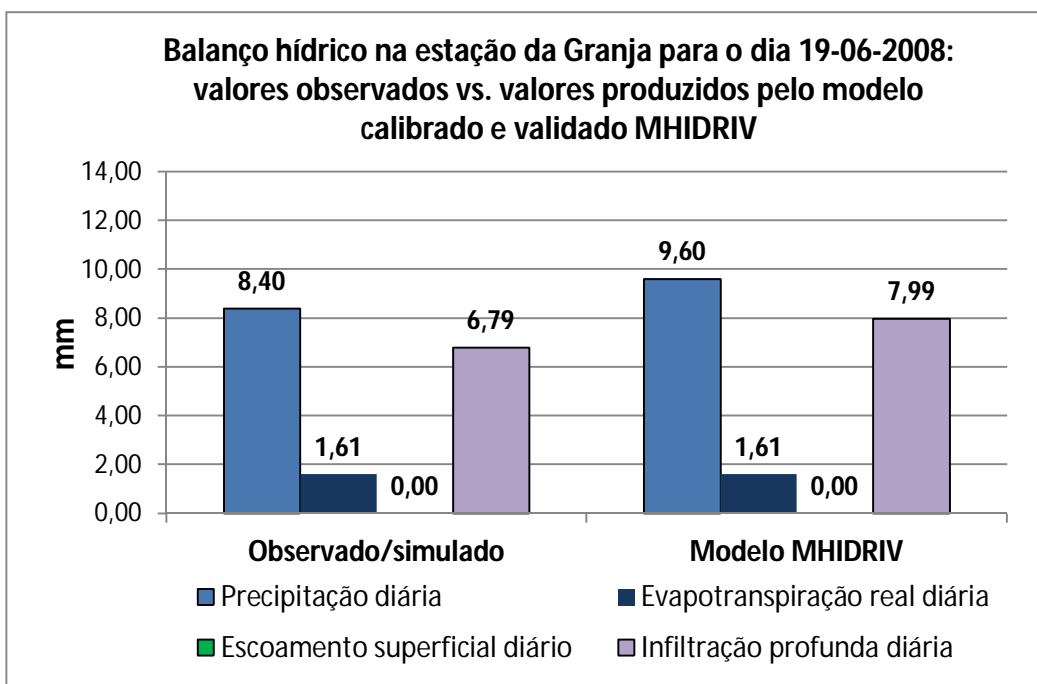


Gráfico 62 Balanço hídrico na estação da Granja no dia 19-06-2008: valores observados/simulados vs. Valores produzidos pelo modelo MHIDRIV.

## 7 REPERCUSSÕES

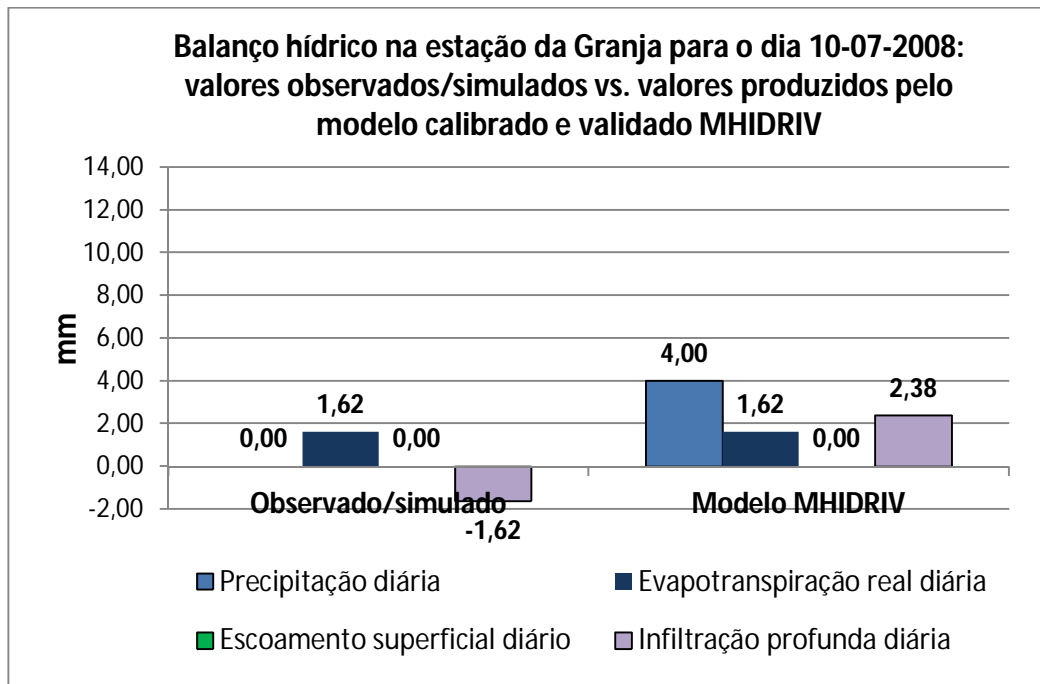


Gráfico 63 Balanço hídrico na estação da Granja no dia 10-07-2008: valores observados/simulados vs. Valores produzidos pelo modelo MHIDRIV.

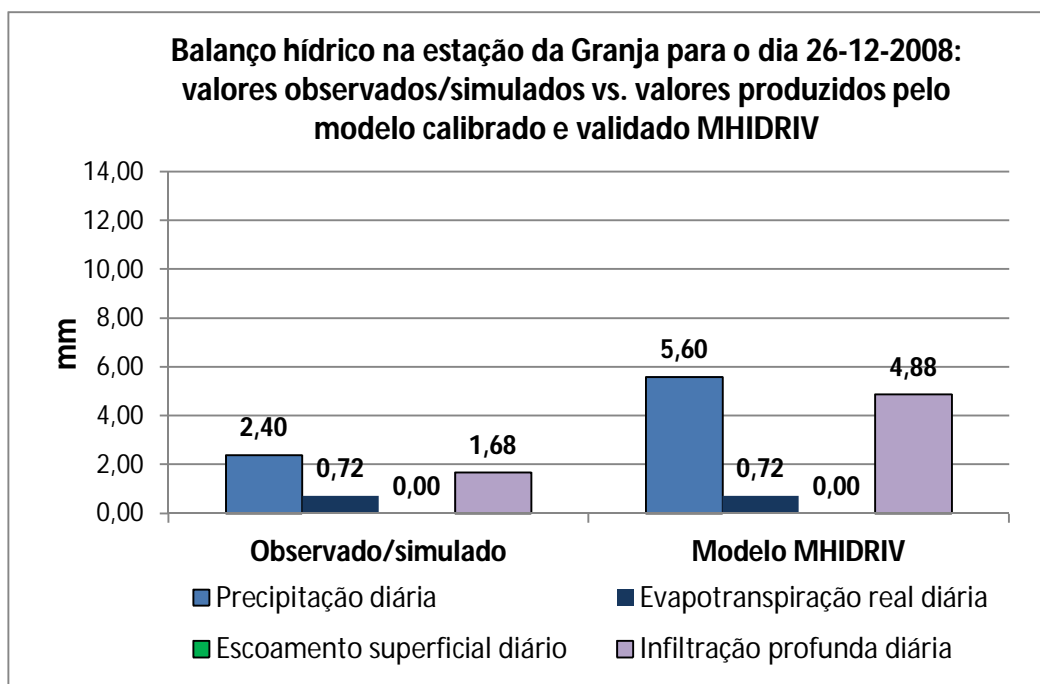


Gráfico 64 Balanço hídrico na estação da Granja no dia 26-12-2008: valores observados/simulados vs. Valores produzidos pelo modelo MHIDRIV.



## 7 APLICAÇÃO DO MODELO MHIDRIV A UM EVENTO DE PRECIPITAÇÃO EXTREMA

---

Neste capítulo são apresentados os resultados da aplicação do modelo MHIDRIV calibrado e validado a um evento de precipitação extrema que ocorreu nos dias 10, 11 e 12 de Maio de 2012 e afetou a bacia hidrográfica da Grota do Tapete. Este evento tem especial relevância uma vez que gerou um significativo escoamento superficial na Grota do Tapete, situação que não ocorria há décadas, conforme já referido neste trabalho.

### 7.1 DADOS METEOROLÓGICOS E ESCOAMENTO SUPERFICIAL

Os dados climáticos do mês de Maio de 2012 referentes à precipitação, temperatura, humidade relativa do ar, velocidade do vento e radiação líquida foram recolhidos pela estação agrometeorológicas da Granja. A base dados foi estruturada e o seu processamento efetuado, através de fórmulas físicas, no programa *Excel* do *Microsoft Office*. Simulou-se a evapotranspiração de referência através da equação de Penman-Monteith-FAO (Equação 3).

Seguidamente são apresentados apresentados os gráficos de evapotranspiração de referência, temperatura do ar, precipitação, humidade relativa do ar, radiação líquida, velocidade do vento a 2 m de altura do solo, escoamento superficial na estação de da Granja, para o mês de Maio (Gráfico 65, Gráfico 66, Gráfico 67, Gráfico 68, Gráfico 69, Gráfico 70 e Gráfico 71).

## 7 APLICAÇÃO DO MODELO MHIDRIV A UM EVENTO DE PRECIPITAÇÃO EXTREMA

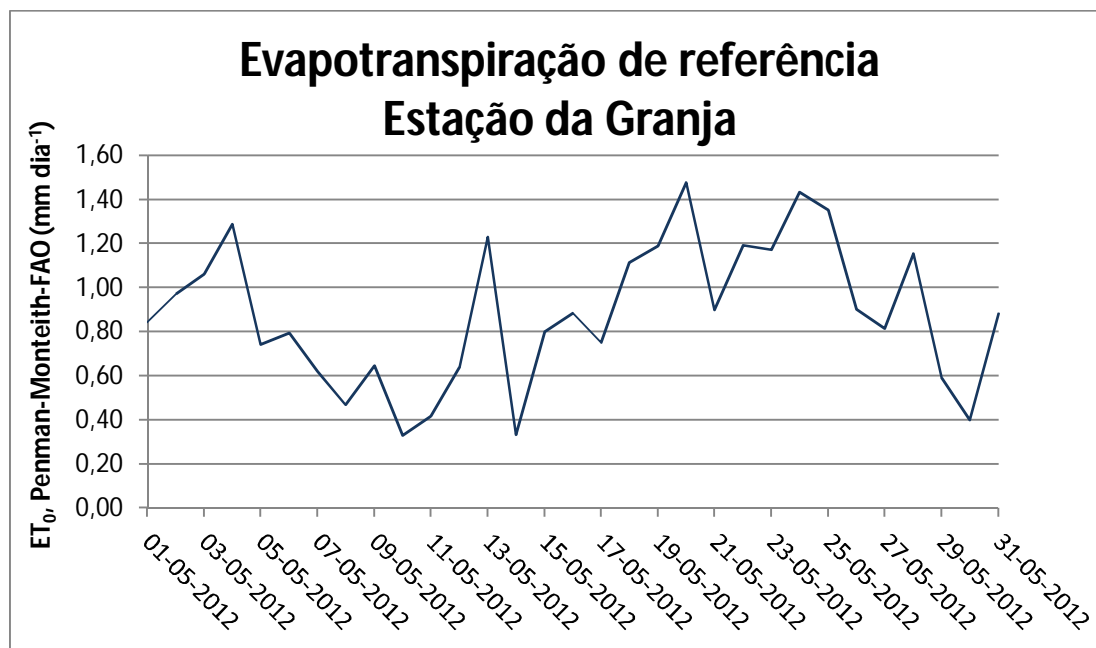


Gráfico 65 Evapotranspiração de referência simulada para a Estação da Granja, em Maio de 2012.

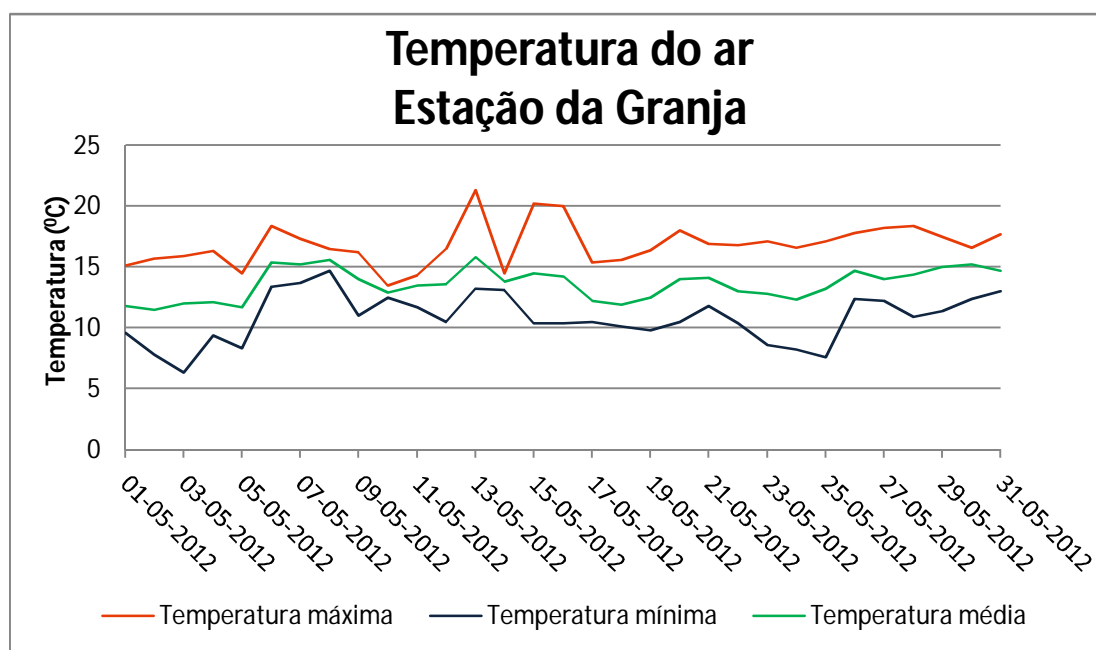


Gráfico 66 Temperaturas máxima, média e mínima registadas na Estação da Granja, em Maio de 2012.

## 7 APLICAÇÃO DO MODELO MHIDRIV A UM EVENTO DE PRECIPITAÇÃO EXTREMA

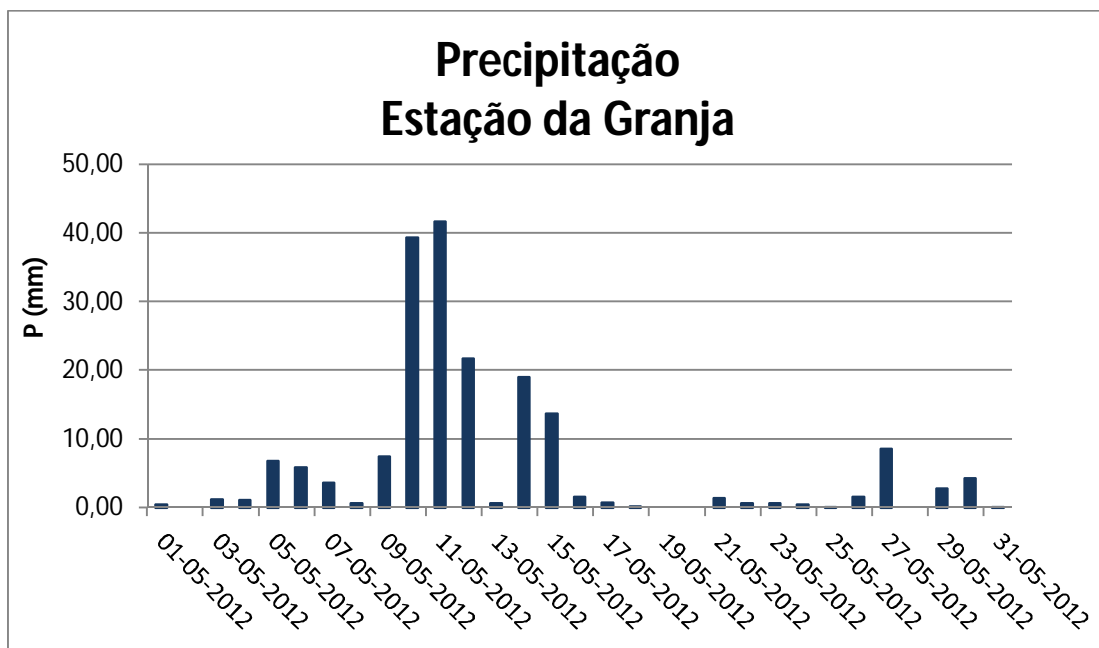


Gráfico 67 Precipitação na Estação da Granja, em Maio de 2012.

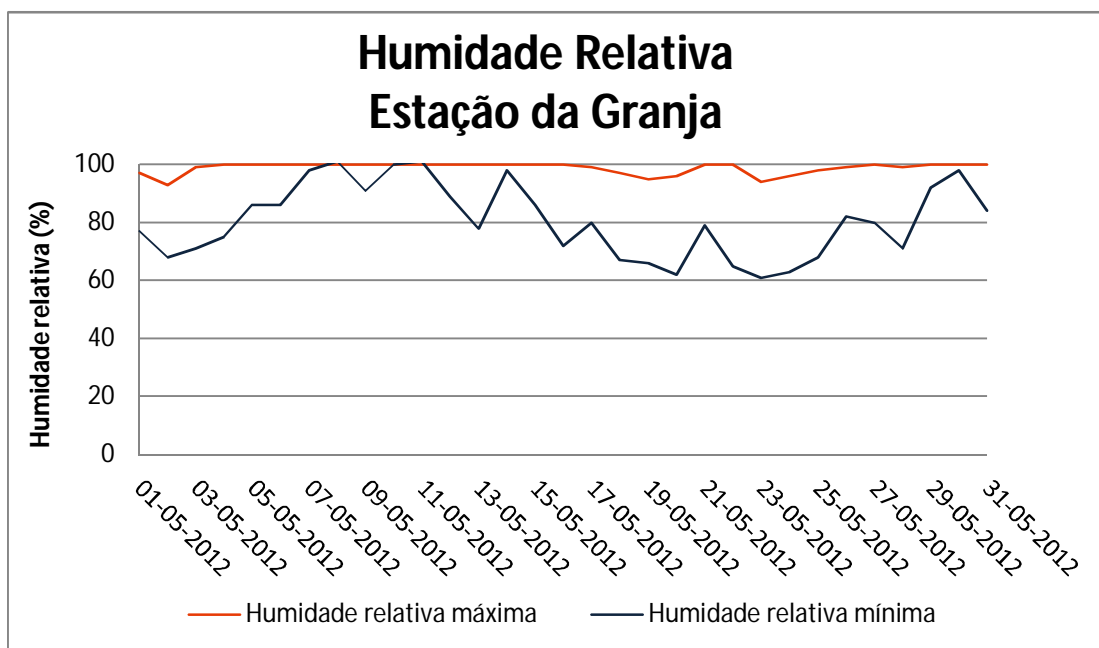


Gráfico 68 Humidades relativas máxima e mínima registadas na Estação da Granja, em Maio de 2012.

## 7 APLICAÇÃO DO MODELO MHIDRIV A UM EVENTO DE PRECIPITAÇÃO EXTREMA

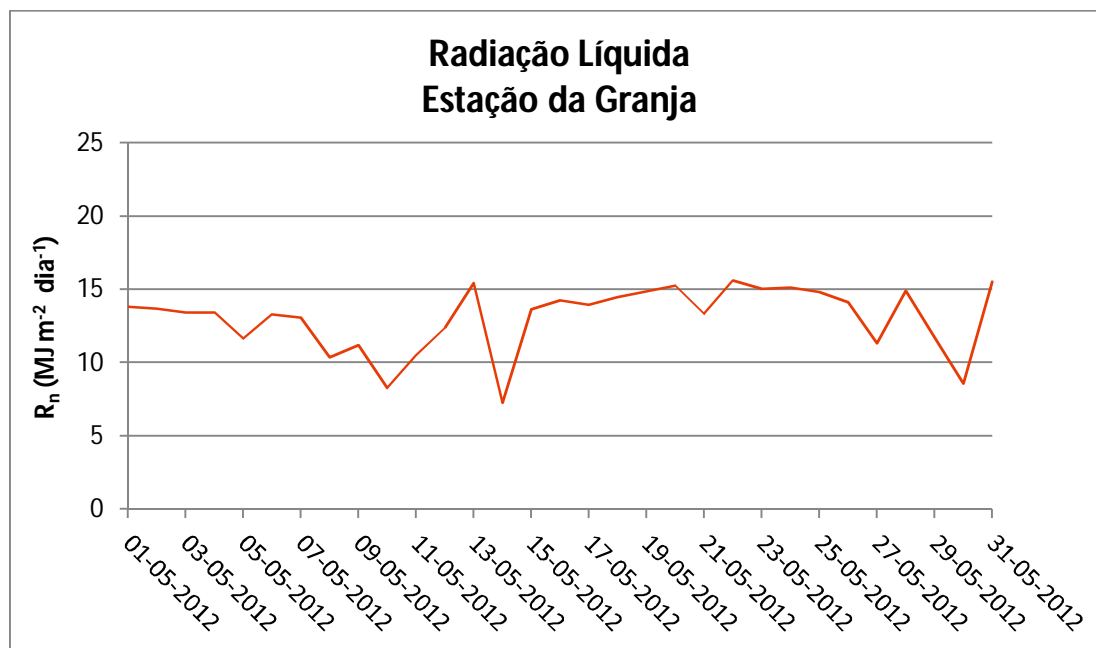


Gráfico 69 Radiação líquida na Estação da Granja, em Maio de 2012.

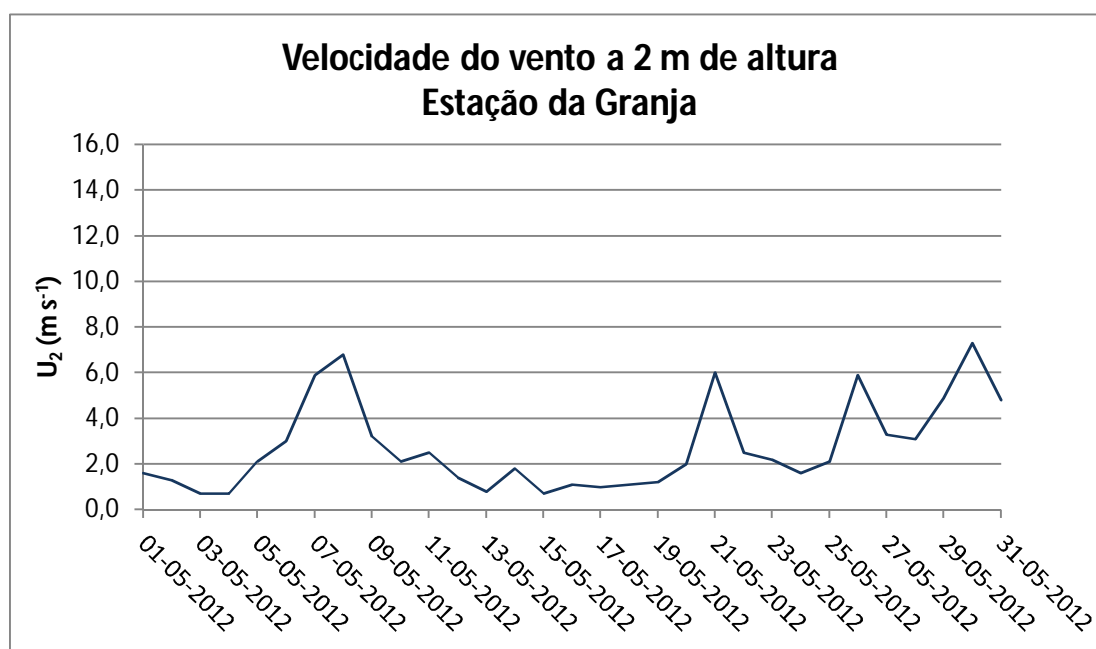


Gráfico 70 Velocidade do vento, a 2 m de altura do solo, na Estação da Granja, em Maio de 2012.

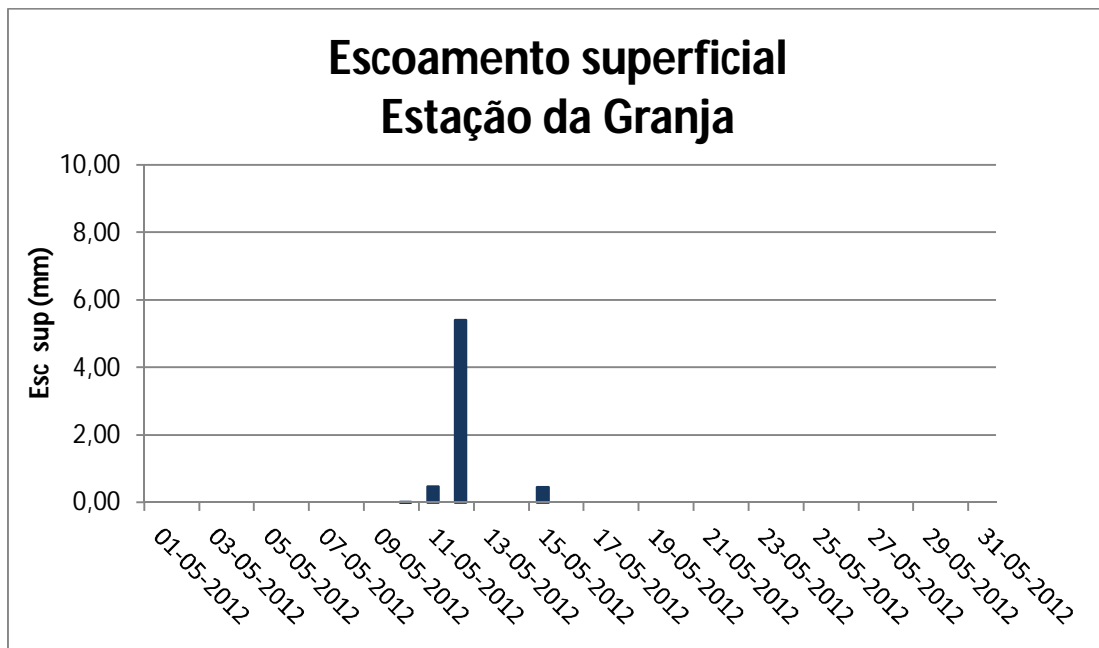


Gráfico 71 Escoamento superficial diário observado na estação da Granja.

## 7.2 MODELAÇÃO HIDROLÓGICA DISTRIBUÍDA

No sentido de efetuar a modelação hidrológica distribuída dos seguintes parâmetros para os dias dias 10, 11 e 12 de Maio de 2012, foram utilizados os dados provenientes da estação de referência Granja e o modelo MHIDRIV criado no decurso deste trabalho:

- Precipitação diária;
- Evapotranspiração de referência diária;
- Evapotranspiração real diária;
- Escoamento superficial diária;
- Infiltração profunda diária.

### 7.2.1 EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA DIÁRIA DISTRIBUÍDA

Seguidamente são apresentadas as cartas de evapotranspiração de referência diária distribuída da bacia hidrográfica da Grota do Tapete, resultantes da aplicação do modelo MHIDRIV, para os dias 10, 11 e 12 de Maio de 2012 (Figura 66, Figura 67 e Figura 68).

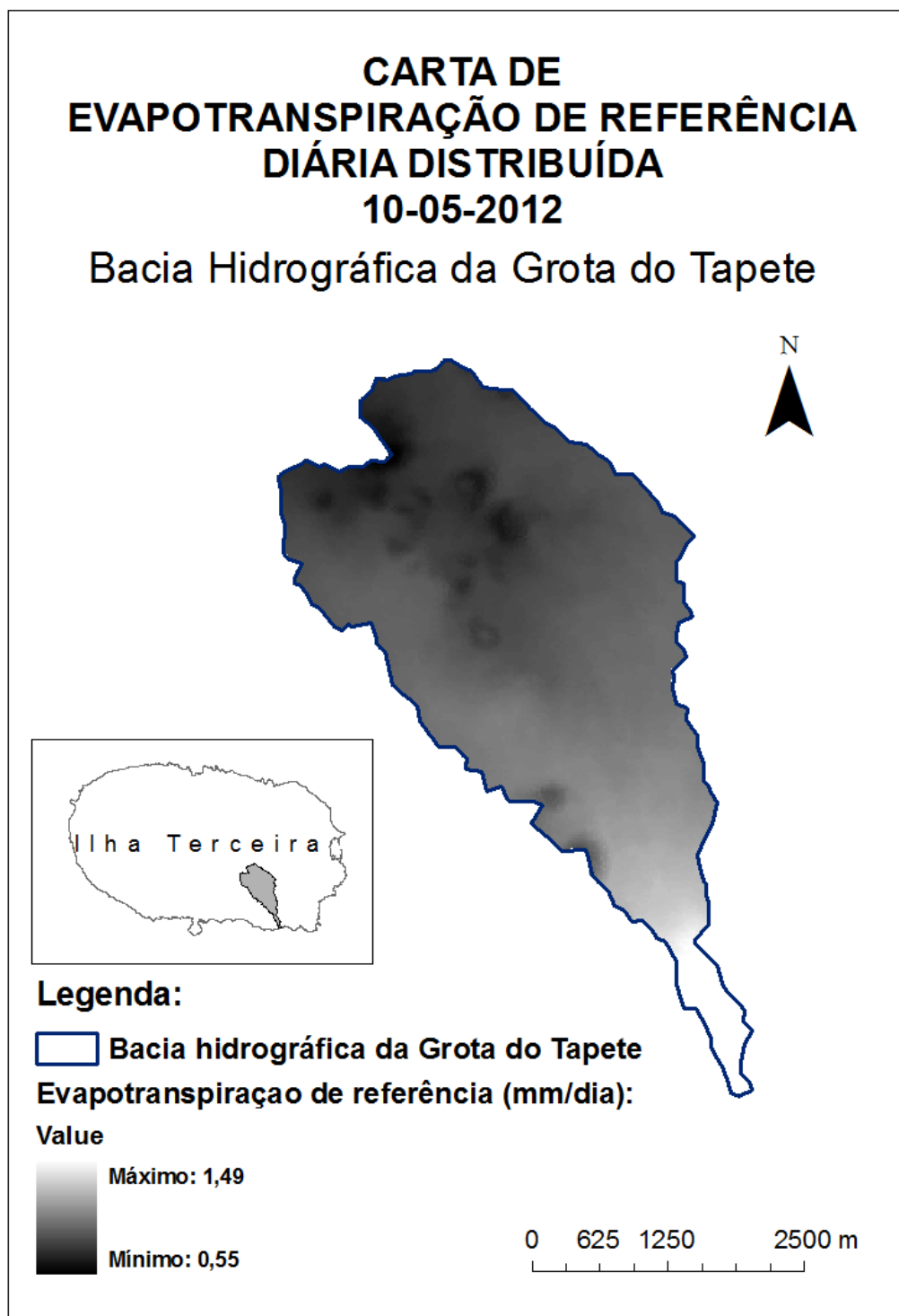


Figura 66 Carta de evapotranspiração de referência diária distribuída da bacia hidrográfica da Grota do Tapete, do dia 10-05-2012.

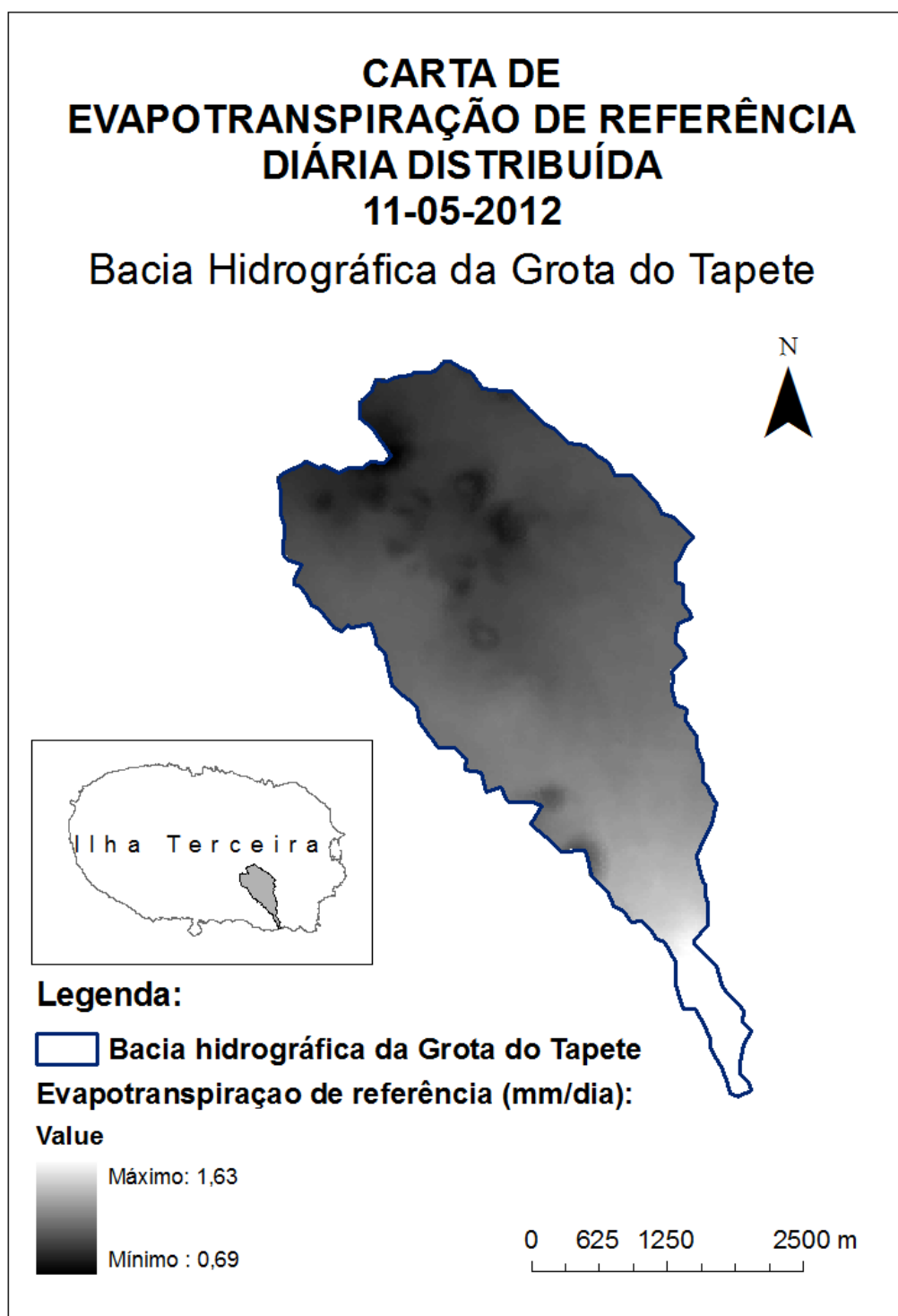


Figura 67 Carta de evapotranspiração de referência diária distribuída da bacia hidrográfica da Grota do Tapete, do dia 11-05-2012.

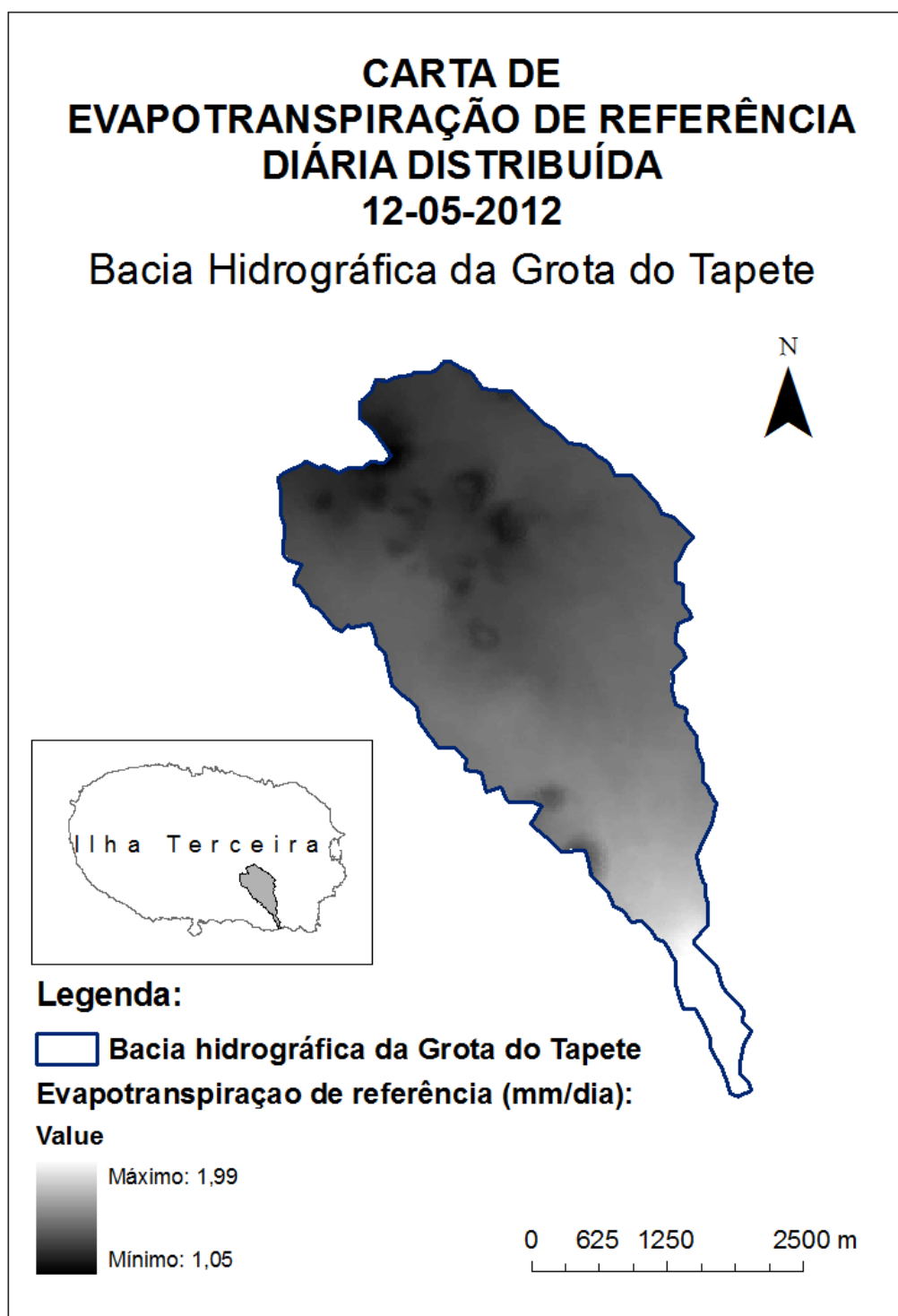


Figura 68 Carta de evapotranspiração de referência diária distribuída da bacia hidrográfica da Grota do Tapete, do dia 12-05-2012.

### 7.2.2 COEFICIENTES CULTURAIS

A carta de coeficientes culturais utilizada para a modelação hidrológica distribuída da evapotranspiração real diária foi a referente ao mês de Maio, que seguidamente se apresenta (Figura 69):

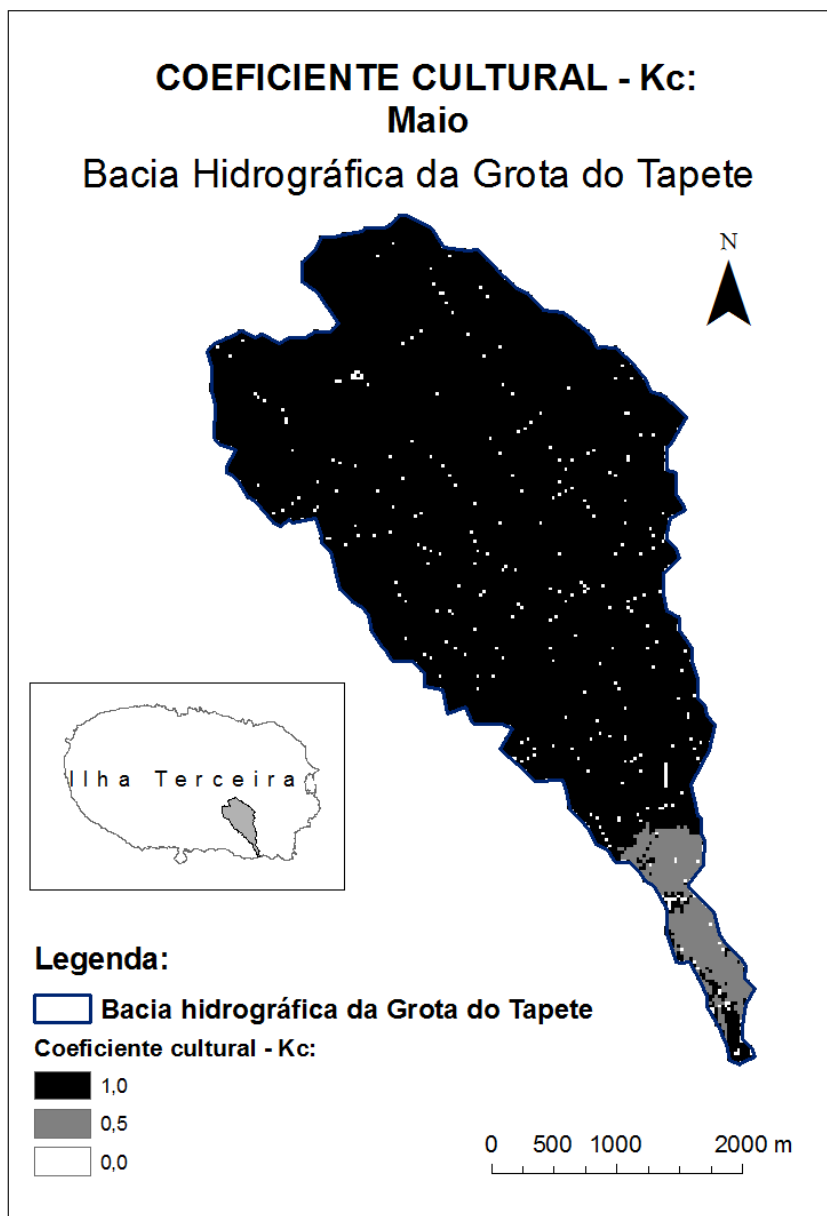


Figura 69 Carta de coeficientes culturais para o mês de Maio da bacia hidrográfica da Grota do Tapete.

### 7.2.3 EVAPOTRANSPIRAÇÃO REAL DIÁRIA DISTRIBUÍDA

Seguidamente são apresentadas as cartas de evapotranspiração real diária distribuída da bacia hidrográfica da Grotta do Tapete, resultantes da aplicação do modelo MHIDRIV, para os dias 10, 11 e 12 de Maio de 2012 (Figura 70, Figura 71 e Figura 72).

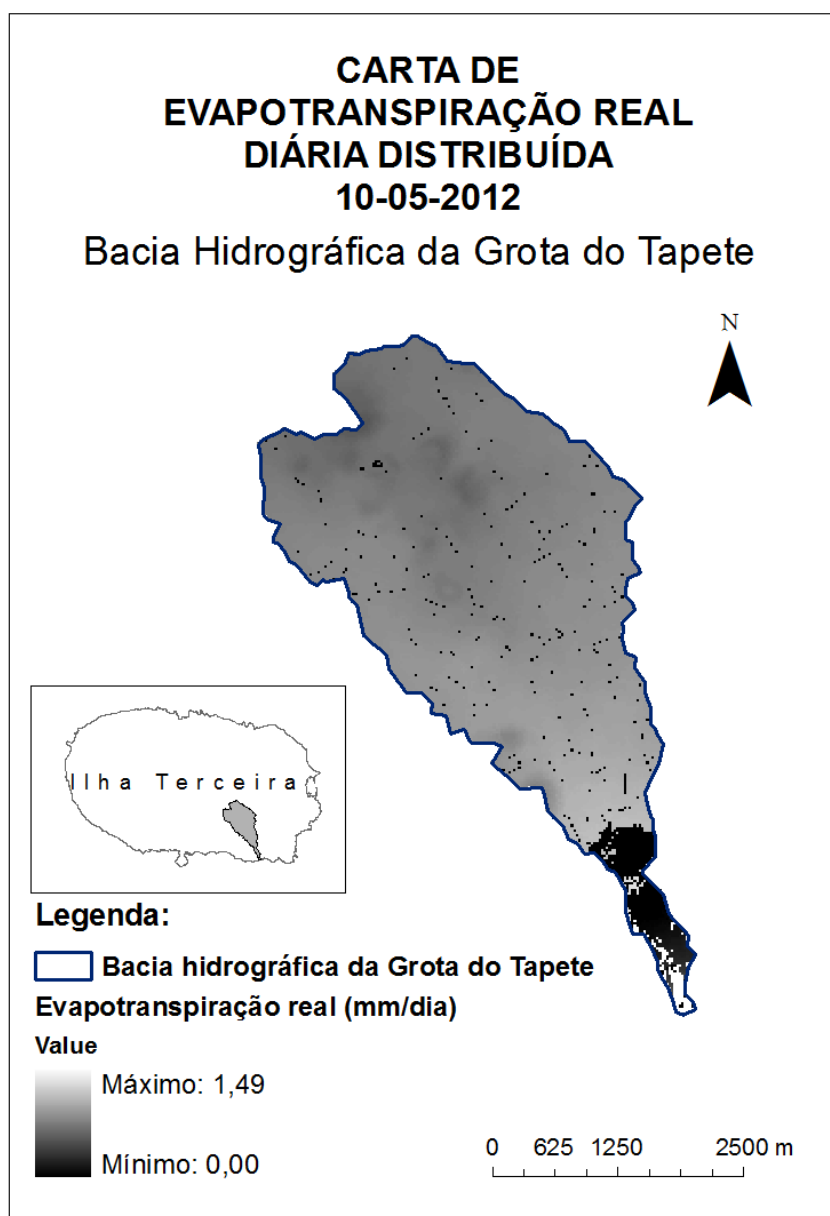


Figura 70 Carta de evapotranspiração real diária distribuída da bacia hidrográfica da Grotta do Tapete, do dia 10-05-2012.

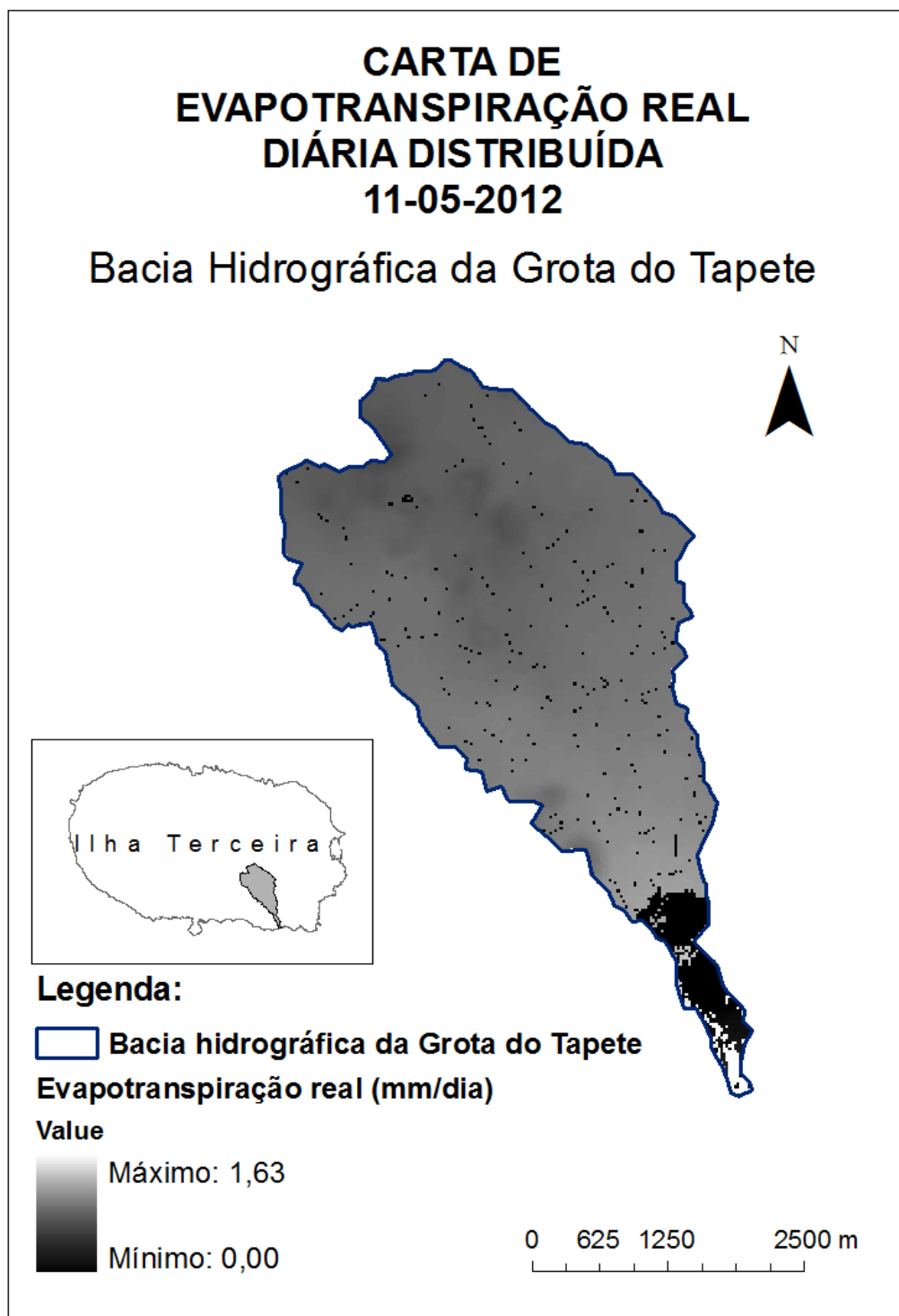


Figura 71 Carta de evapotranspiração real diária distribuída da bacia hidrográfica da Grota do Tapete, do dia 11-05-2012.

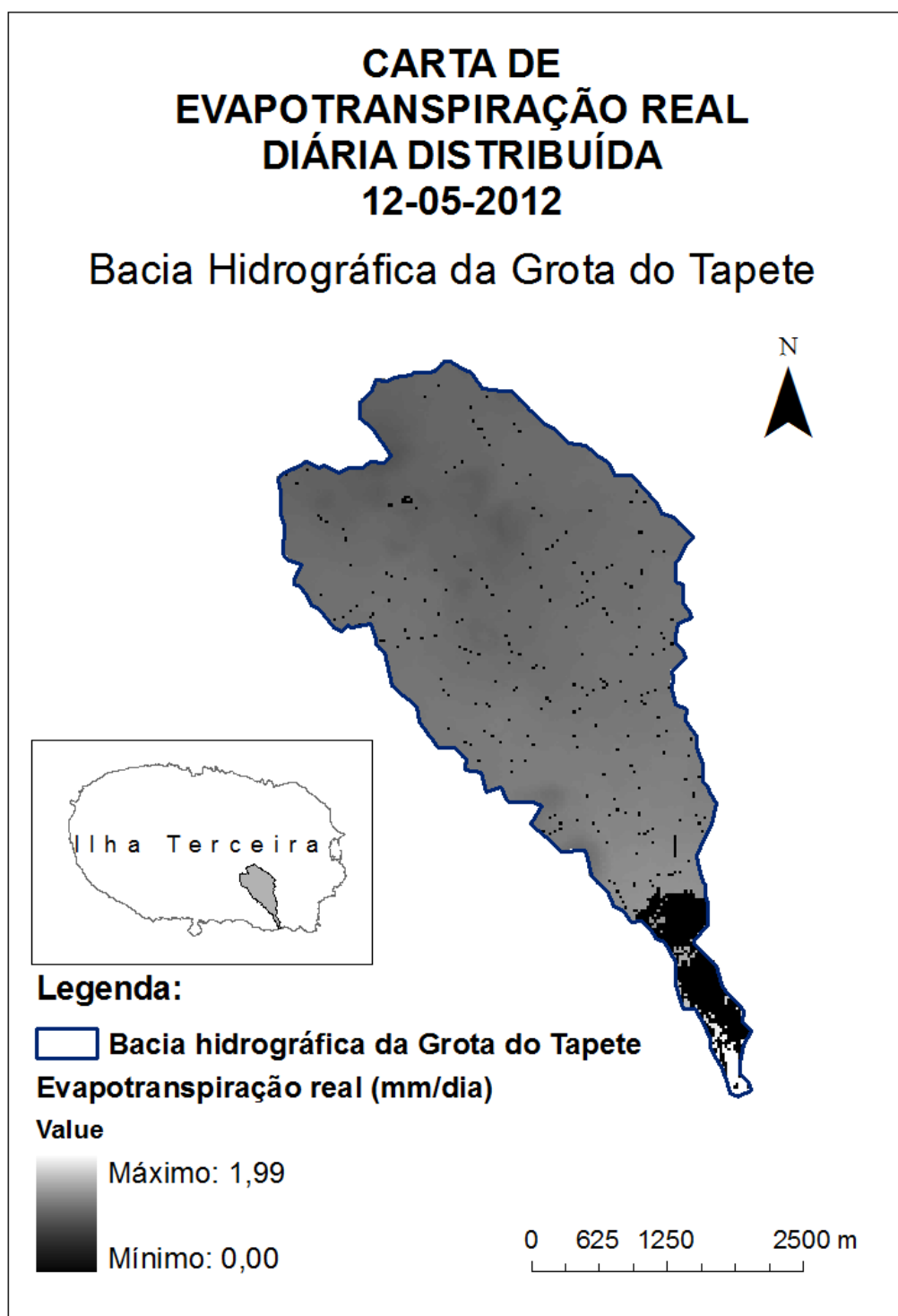


Figura 72 Carta de evapotranspiração real diária distribuída da bacia hidrográfica da Grota do Tapete, do dia 12-05-2012.

#### 7.2.4 PRECIPITAÇÃO DIÁRIA DISTRIBUÍDA

Seguidamente são apresentadas as cartas de precipitação diária distribuída da bacia hidrográfica da Grotta do Tapete, resultantes da aplicação do modelo MHIDRIV, para os dias 10, 11 e 12 de Maio de 2012 (Figura 73, Figura 74 e Figura 75).

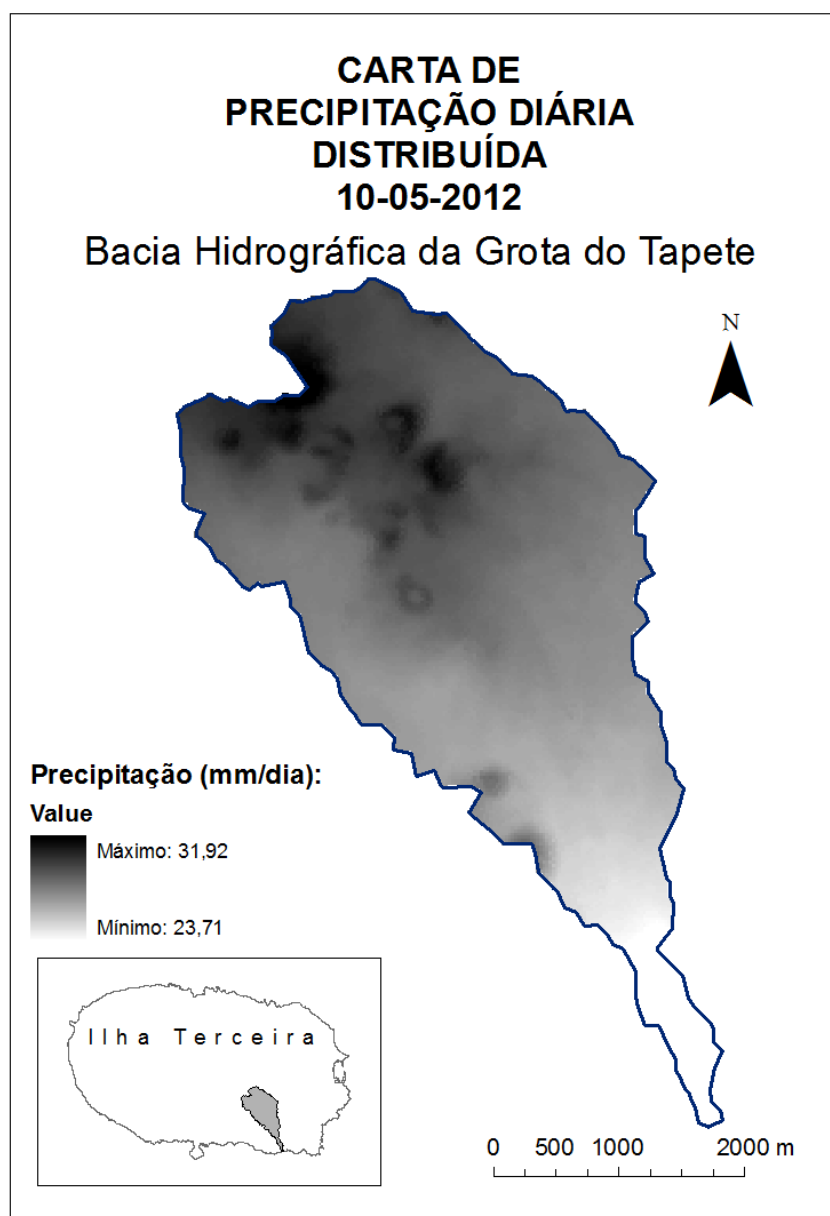


Figura 73 Carta de precipitação diária distribuída da bacia hidrográfica da Grotta do Tapete, do dia 10-05-2012.

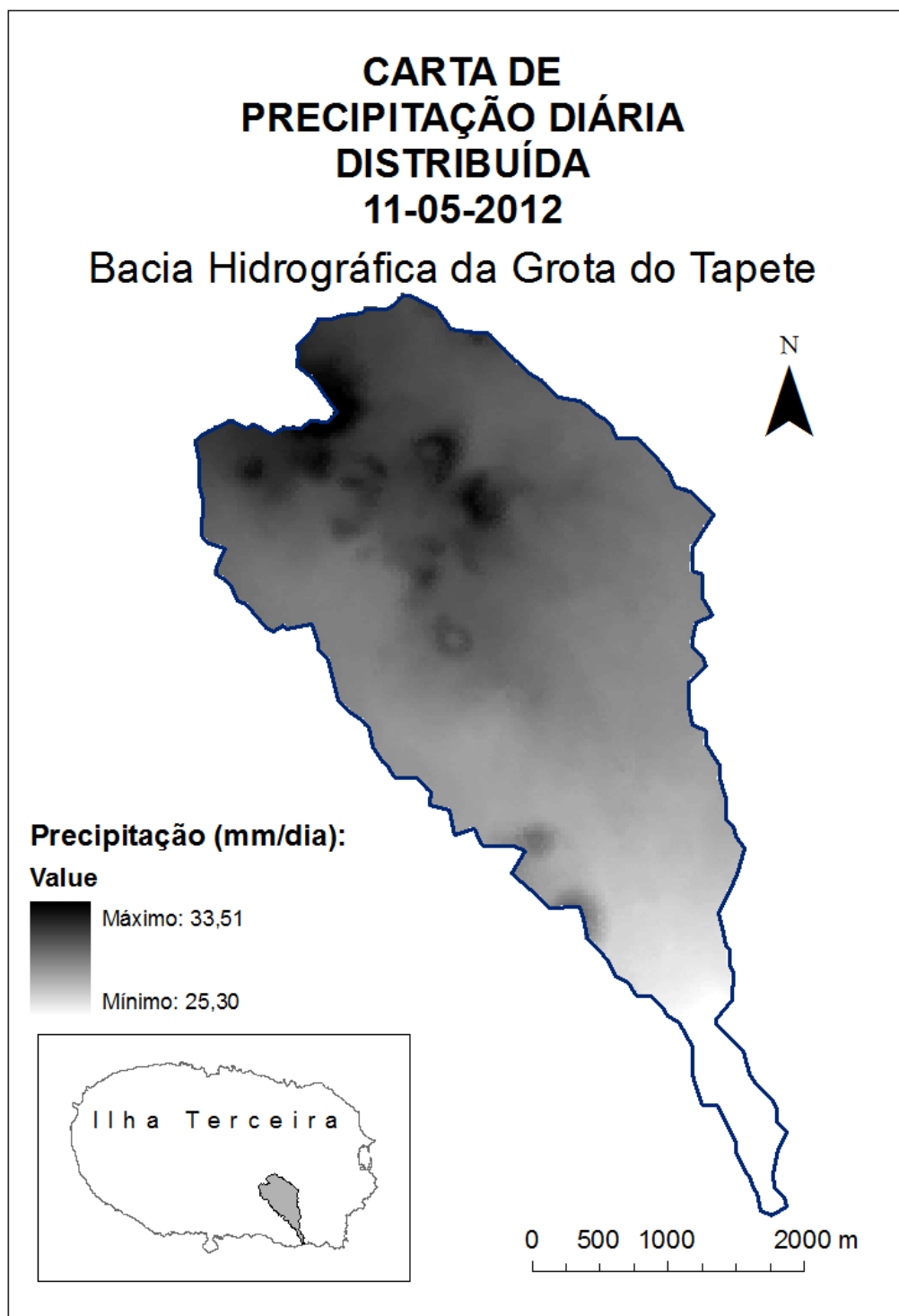


Figura 74 Carta de precipitação diária distribuída da bacia hidrográfica da Grota do Tapete, do dia 11-05-2012.

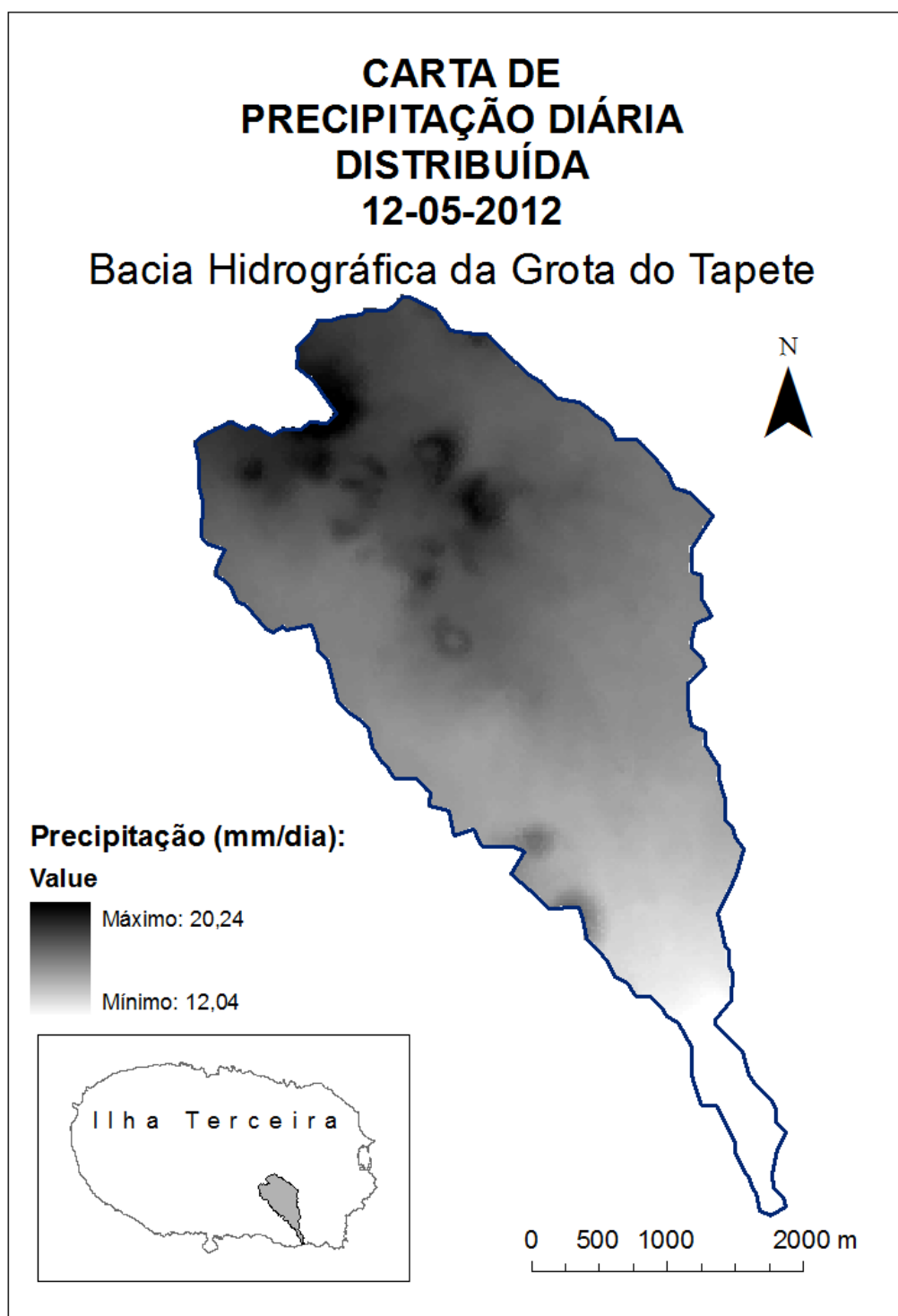


Figura 75 Carta de precipitação diária distribuída da bacia hidrográfica da Grotta do Tapete, do dia 12-05-2012.

### 7.2.5 ESCOAMENTO SUPERFICIAL DIÁRIO DISTRIBUÍDO

No sentido de efetuar a modelação espacial distribuída do escoamento superficial para a bacia hidrográfica, foram criadas cartas de deste parâmetro para os dias 10, 11 e 12 de Maio de 2012, para cada uma das situações antecedentes de humidade do solo, utilizando o *software* ArcGIS e a extensão *Spatial Analyst*.

Após a criação das cartas acima referidas, foram comparados os valores de escoamento superficial diário produzidos pelo modelo MHIDRIV com os valores observados na estação da Granja, através da tabela (Tabela 18) e dos gráficos seguintes (Gráfico 72, Gráfico 73 e Gráfico 74):

7 APLICAÇÃO DO MODELO MHIDRIV A UM EVENTO DE PRECIPITAÇÃO EXTREMA

Estação da Granja	Escoamento superficial diário (mm)						
Data	Observado	Modelo MHIDRIV - AMC I	Diferença entre o modelo e o observado	Modelo MHIDRIV - AMC II	Diferença entre o modelo e o observado	Modelo MHIDRIV - AMC III	Diferença entre o modelo e o observado
10-05-2012	0,01	0,29	0,28	1,70	1,69	4,58	4,57
11-05-2012	0,46	0,35	-0,11	1,93	1,47	5,08	4,62
12-05-2012	5,41	0,01	-5,40	0,46	-4,95	1,62	-3,79

Tabela 18 Comparação de valores de escoamento superficial diário produzidos pelo modelo MHIDRIV, com os valores observados na estação da Granja.

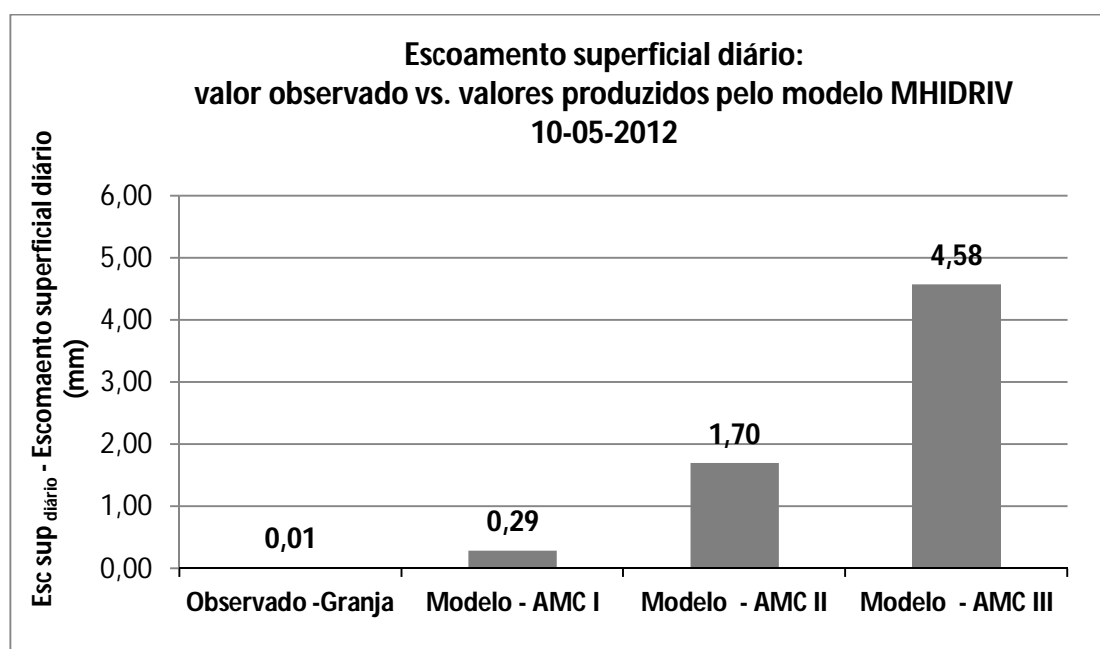


Gráfico 72 Dia 10-05-2012: escoamento superficial diário observado na estação da Granja vs. valores de escoamento superficial diário produzidos pelo modelo MHIDRIV, para as situações de umidade do solo AMC I, AMC II e AMC III.

## 7 APLICAÇÃO DO MODELO MHIDRIV A UM EVENTO DE PRECIPITAÇÃO EXTREMA

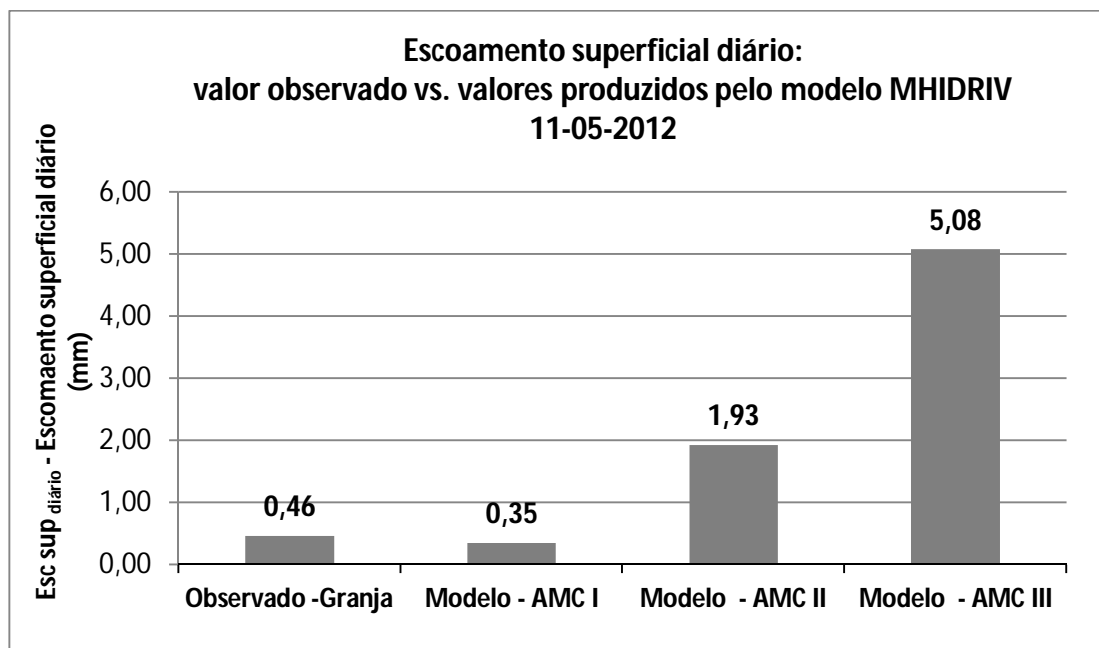


Gráfico 73 Dia 11-05-2012: escoamento superficial diário observado na estação da Granja vs. valores de escoamento superficial diário produzidos pelo modelo MHIDRIV, para as situações de humidade do solo AMC I, AMC II e AMC III.

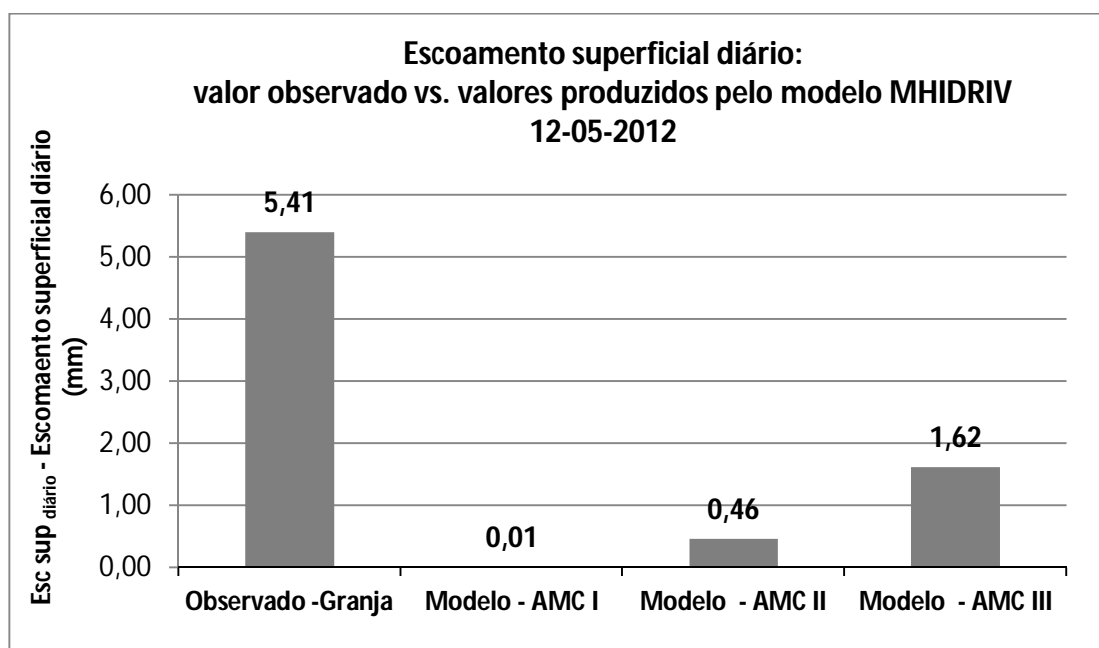


Gráfico 74 Dia 12-05-2012: escoamento superficial diário observado na estação da Granja vs. valores de escoamento superficial diário produzidos pelo modelo MHIDRIV, para as situações de humidade do solo AMC I, AMC II e AMC III.

## 7 APLICAÇÃO DO MODELO MHIDRIV A UM EVENTO DE PRECIPITAÇÃO EXTREMA

Da análise da tabela (Tabela 15) e dos gráficos (Gráfico 72, Gráfico 73 e Gráfico 74) anteriores, verificou-se que a situação antecedente de humidade do solo para a qual o modelo calibrado gera valores de escoamento superficial diários mais aproximadas à realidade é:

- No dia 10-05-2012, a AMC I;
- No dia 11-05-2012, a AMC II;
- No dia 12-05-2012, a AMC III;

Embora fosse espectável, de acordo com a variabilidade mensal média das situações antecedentes de humidade do solo (Tabela 11) que no mês de Maio, a situação de humidade do solo fosse AMC II, quando comparados os valores de escoamento superficial diário observados na estação da Granja com os gerados pelo modelo MHIDRIV para todas as situações eantecedentes humidade do solo, verifica-se que o modelo indica que a situação antecedente de humidade do solo variou de forma diária, evoluindo da situação AMCI, a 10 de Maio de 2012, até à situação AMC III, a 12 de Maio de 2012, devido às fortes chuvadas que ocorreram naquele período (Gráfico 67) que resultaram em elevados teores de humidade do solo.

Assim, as cartas de números de escoamento ajustadas ao declive utilizadas para modelar espacialmente o escoamento superficial, foram selecionadas de forma a refletirem a evolução da situação antecedente de humidade no solo.

Verifica-se, assim, que o modelo MHIDRIV apresenta versatilidade relativamente à situação antecedente de humidade no solo, dado que é possível selecionar a carta de CNs mais adequado a cada dia, em termos da ocupação de solo e da situação antecedente de humidade que representa.

Os valores do parâmetro precipitação diária indicam o que chove entre as 0h00 e as 24h00 de um determinado dia. No dia 11-05-2012, a maior parte da precipitação ocorreu à noite, fazendo com que o escoamento superficial por ela gerado se reflita no valor deste parâmetro observado no dia 12-05-2012. Por isso, para a estação da Granja, o valor de escoamento superficial diário gerado pelo modelo para o dia 11-05-2012 para

## *7 APLICAÇÃO DO MODELO MHIDRIV A UM EVENTO DE PRECIPITAÇÃO EXTREMA*

a situação antecedente de humidade do solo AMC III (5,08 mm) seja aproximado ao valor de escoamento superficial diário observado na estação no dia 12-05-2012 (5,41 mm).

Seguidamente são apresentadas as cartas de escoamento diário distribuído da bacia hidrográfica da Grotta do Tapete, resultantes da aplicação do modelo MHIDRIV, para os dias 10, 11 e 12 de Maio de 2012 (Figura 79, Figura 80 e Figura 81):

São apresentadas as cartas de números de escoamento da bacia hidrográfica da Grotta do Tapete, ajustados ao declive, para o mês de Maio e para as situações antecedentes de humidade do solo para as quais se verificou que o modelo referido gerou valores de escoamento superficial diários mais aproximados dos valores observados:

- Dia 10-05-12 – situação antecedente de humidade seca AMC I (Figura 76);
- Dia 11-05-12 – situação antecedente de humidade média AMC II (Figura 77);
- Dia 12-05-12 – situação antecedente de humidade húmida AMC III (Figura 78).

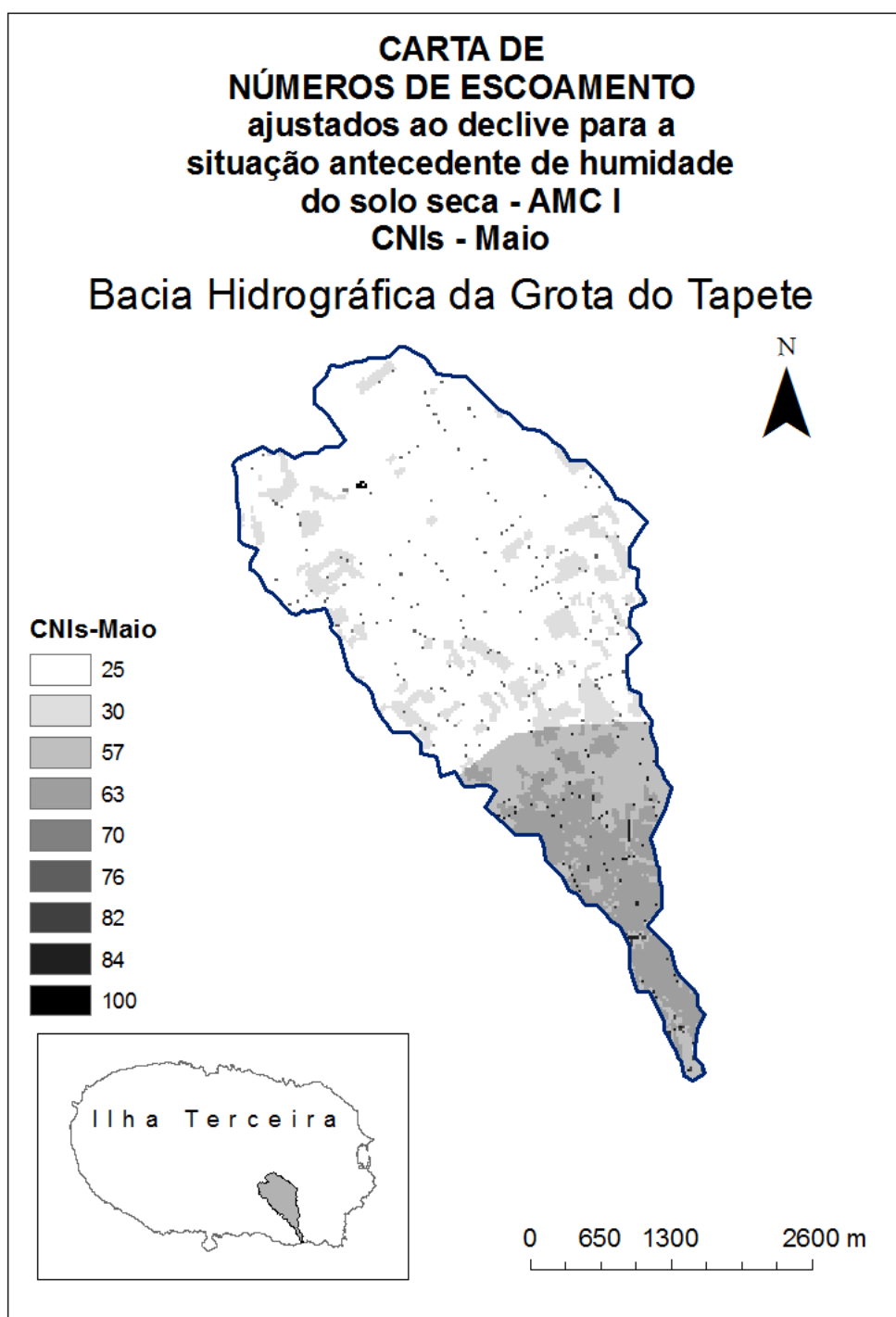


Figura 76 Carta de números de escoamento ajustados ao declive, para o mês de Maio e para a situação antecedente de humidade do solo AMC I, da bacia hidrográfica da Grotta do Tapete.

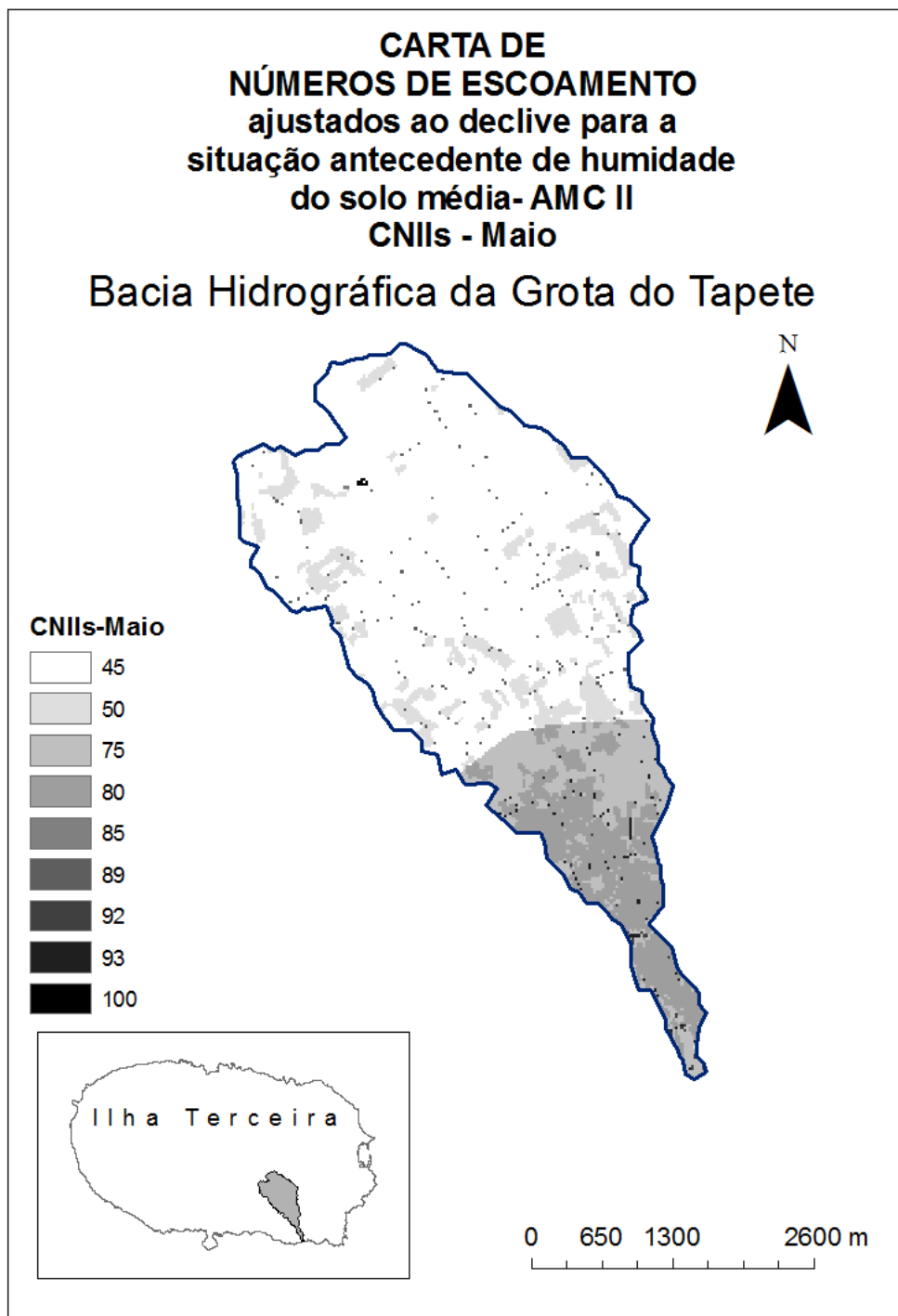


Figura 77 Carta de números de escoamento ajustados ao declive, para o mês de Maio e para a situação antecedente de humidade do solo AMC II, da bacia hidrográfica da Grota do Tapete.

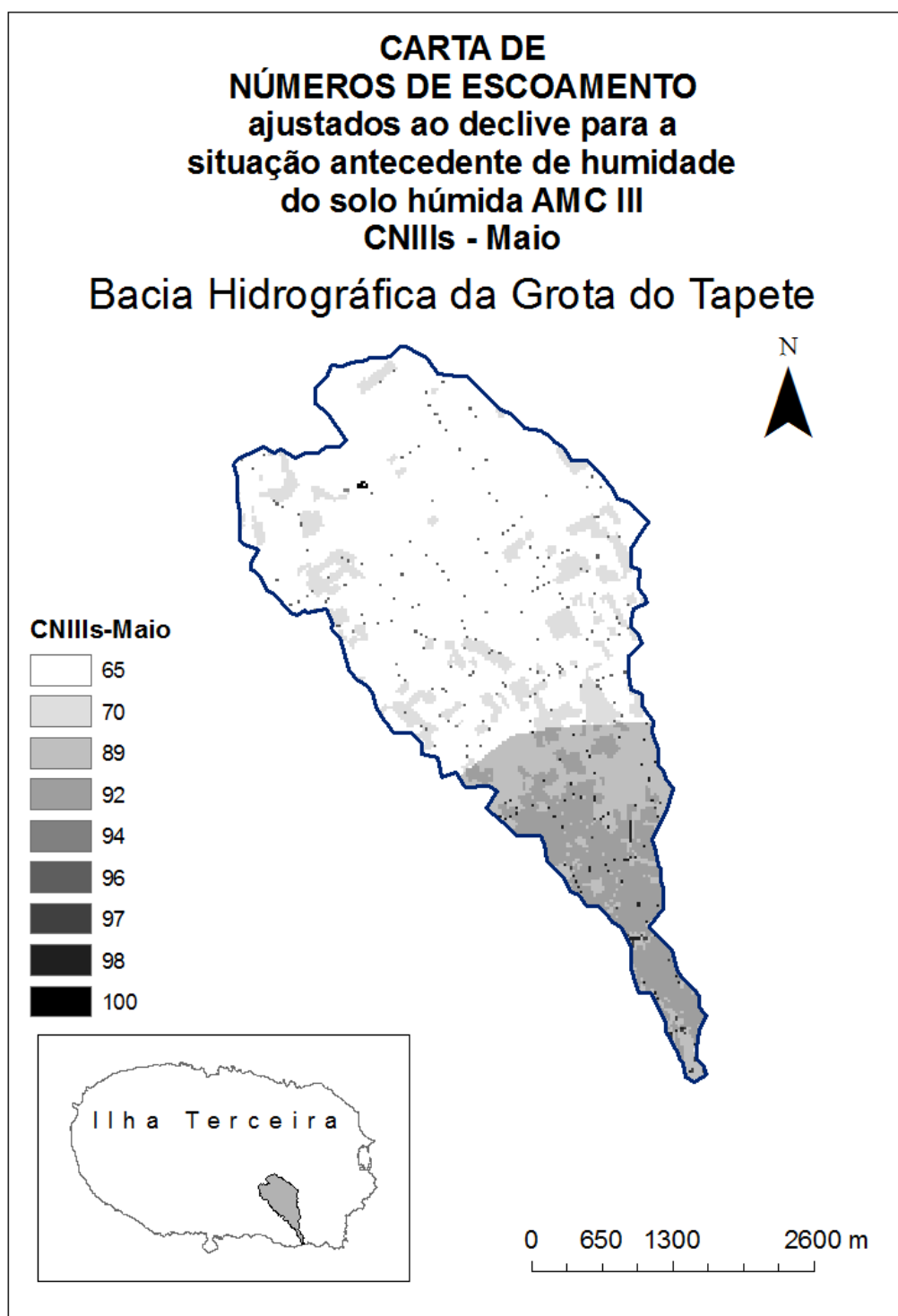


Figura 78 Carta de números de escoamento ajustados ao declive, para o mês de Maio e para a situação antecedente de humidade do solo AMC III, da bacia hidrográfica da Grota do Tapete.

## 7 APLICAÇÃO DO MODELO MHIDRIV A UM EVENTO DE PRECIPITAÇÃO EXTREMA

Seguidamente são apresentadas as cartas de escoamento diário distribuído da bacia hidrográfica da Grota do Tapete, resultantes da aplicação do modelo MHIDRIV, para os dias 10, 11 e 12 de Maio de 2012 (Figura 79, Figura 80 e Figura 81):

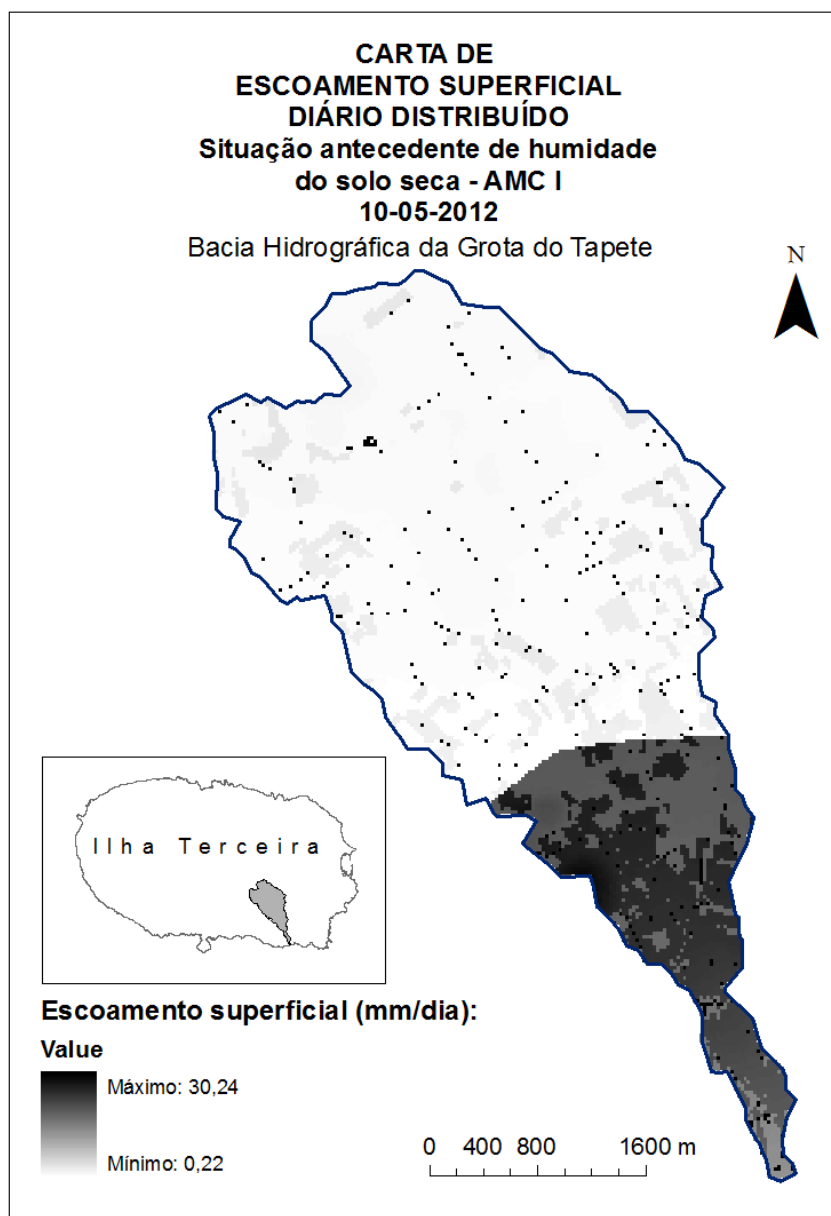


Figura 79 Carta de escoamento superficial diário distribuído da bacia hidrográfica da Grota do Tapete, para o dia 10-05-2012 e para a situação antecedente de humidade do solo AMC I.

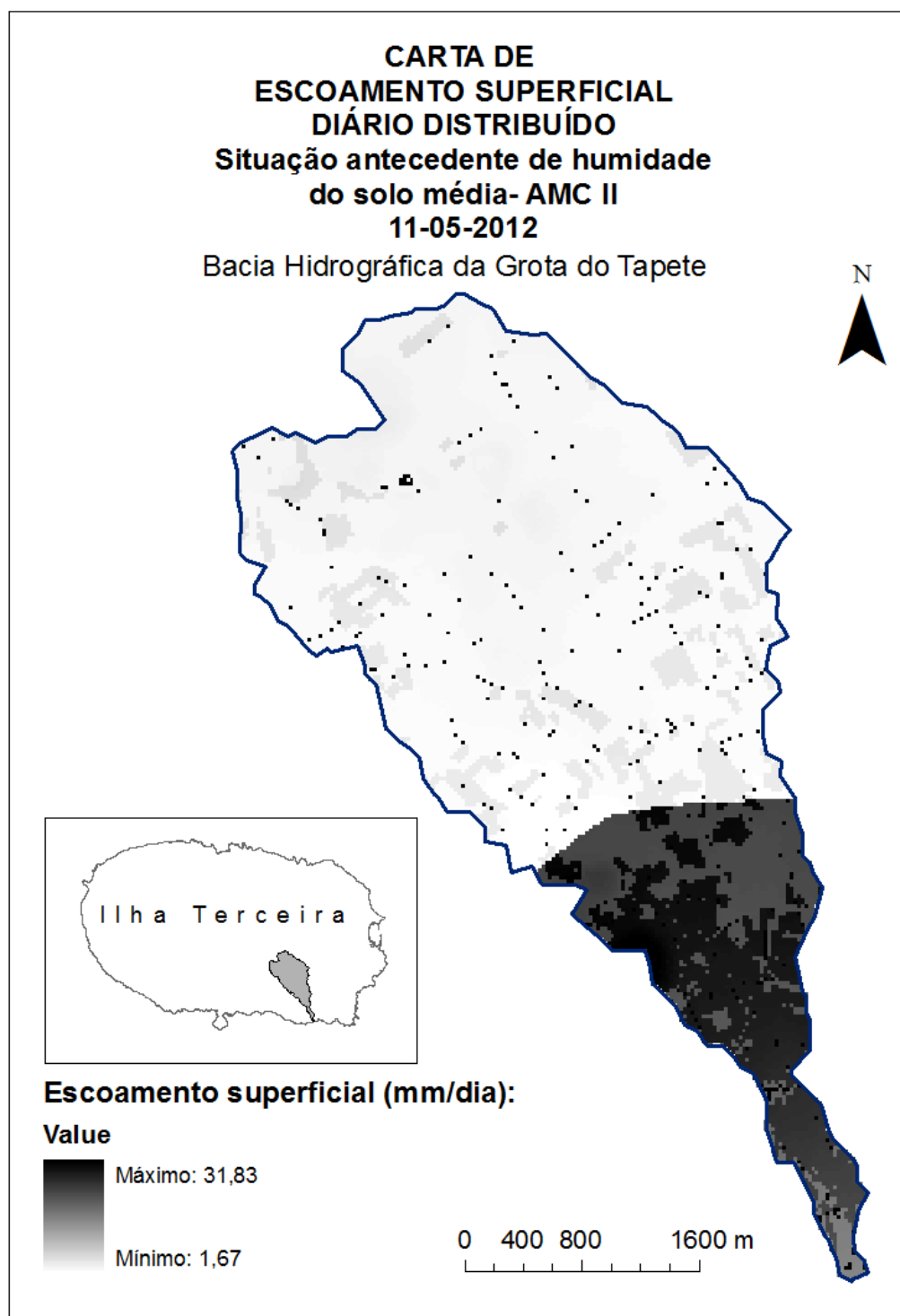


Figura 80 Carta de escoamento superficial diário distribuído da bacia hidrográfica da Grotta do Tapete, para o dia 11-05-2012 e para a situação antecedente de humidade do solo AMC II.

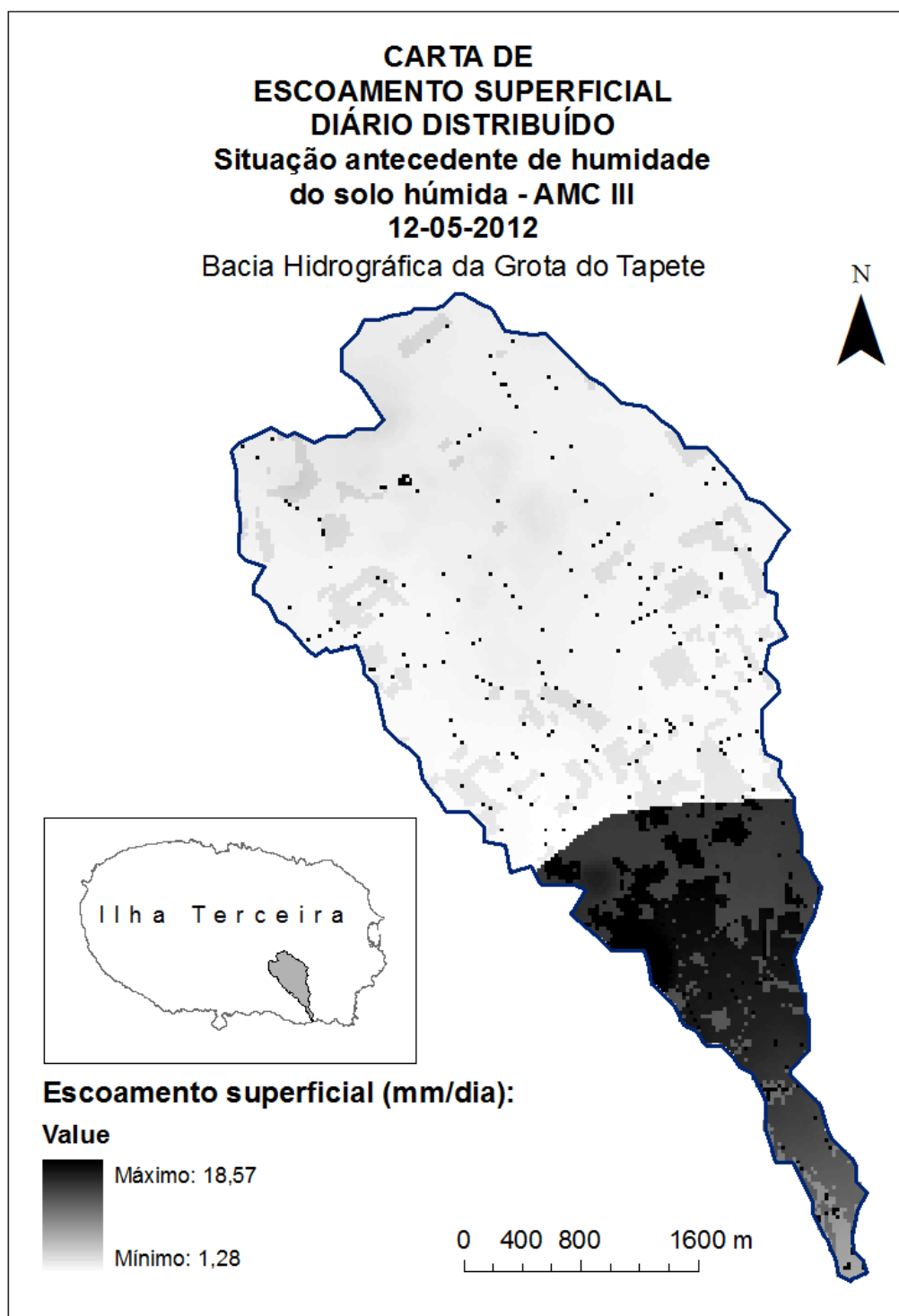


Figura 81 Carta de escoamento superficial diário distribuído da bacia hidrográfica da Grota do Tapete, para o dia 12-05-2012 e para a situação antecedente de humidade do solo AMC III.

### 7.2.6 INFILTRAÇÃO PROFUNDA DIÁRIA DISTRIBUÍDA

Seguidamente são apresentadas as cartas de infiltração profunda distribuída da bacia hidrográfica da Grotta do Tapete, resultantes da aplicação do modelo MHIDRIV, para os dias 10, 11 e 12 de Maio de 2012 (Figura 82, Figura 83 e Figura 84).

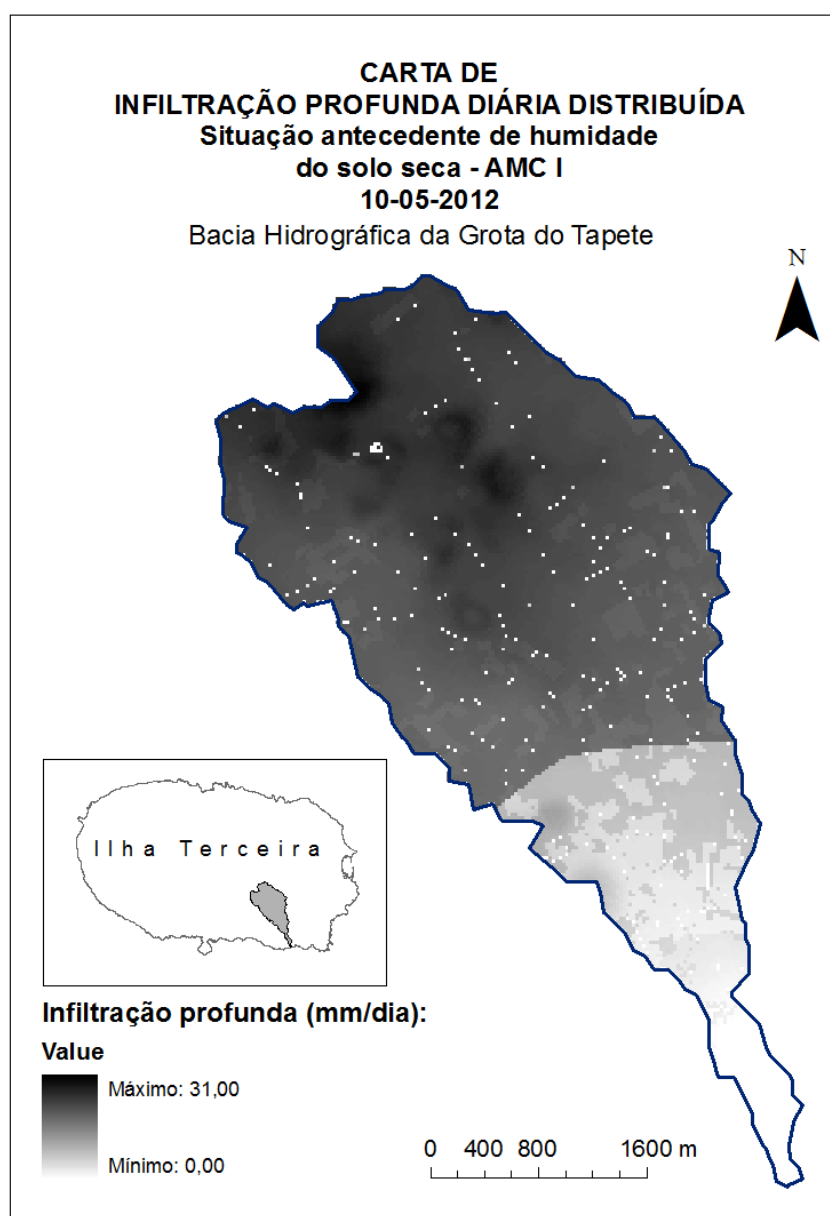


Figura 82 Carta de infiltração profunda diária distribuída da bacia hidrográfica da Grotta do Tapete, para o dia 10-05-2012 e para a situação antecedente de humidade do solo AMC I.

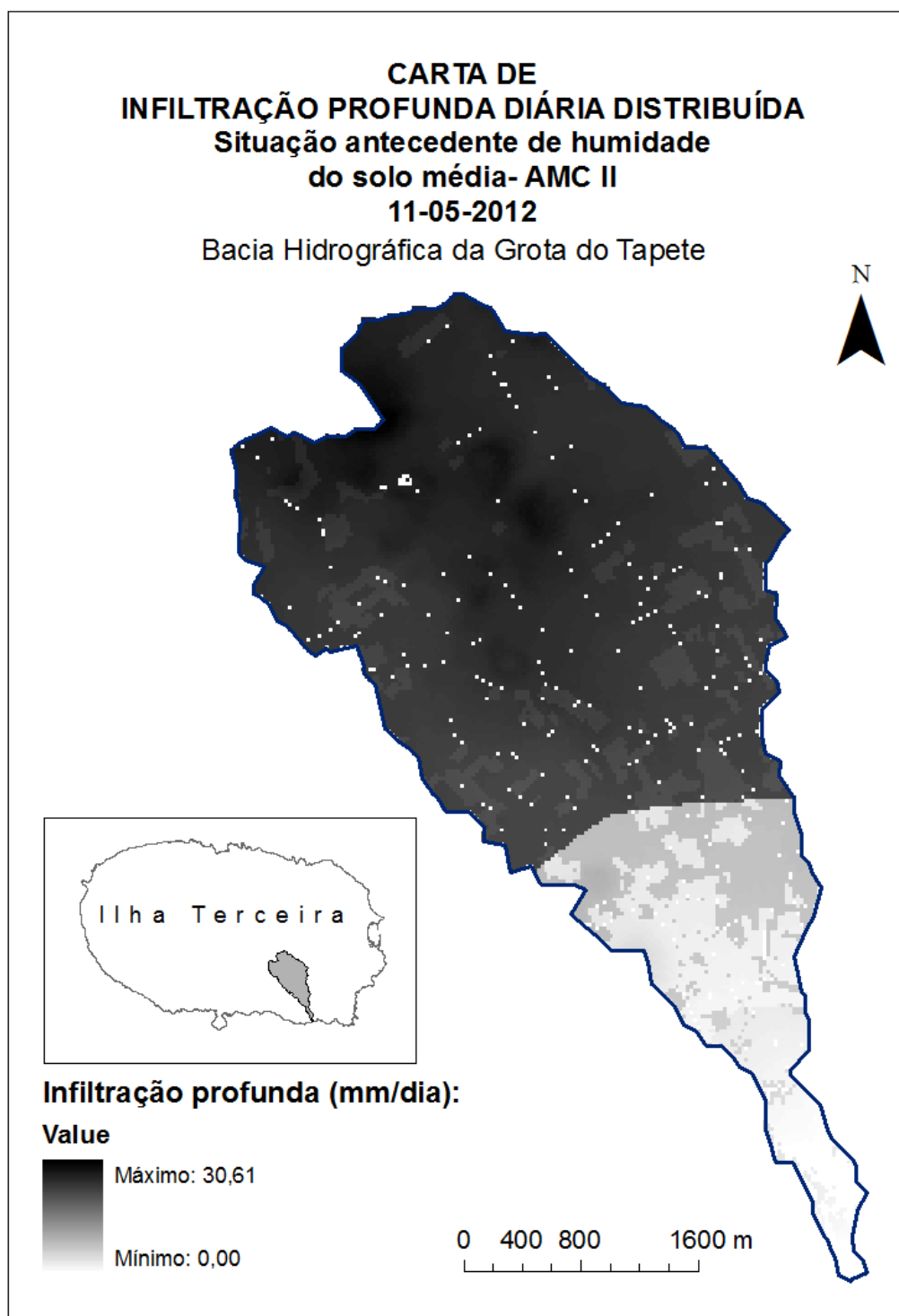


Figura 83 Carta de infiltração profunda diária distribuída da bacia hidrográfica da Grota do Tapete, para o dia 11-05-2012 e para a situação antecedente de humidade do solo AMC II.

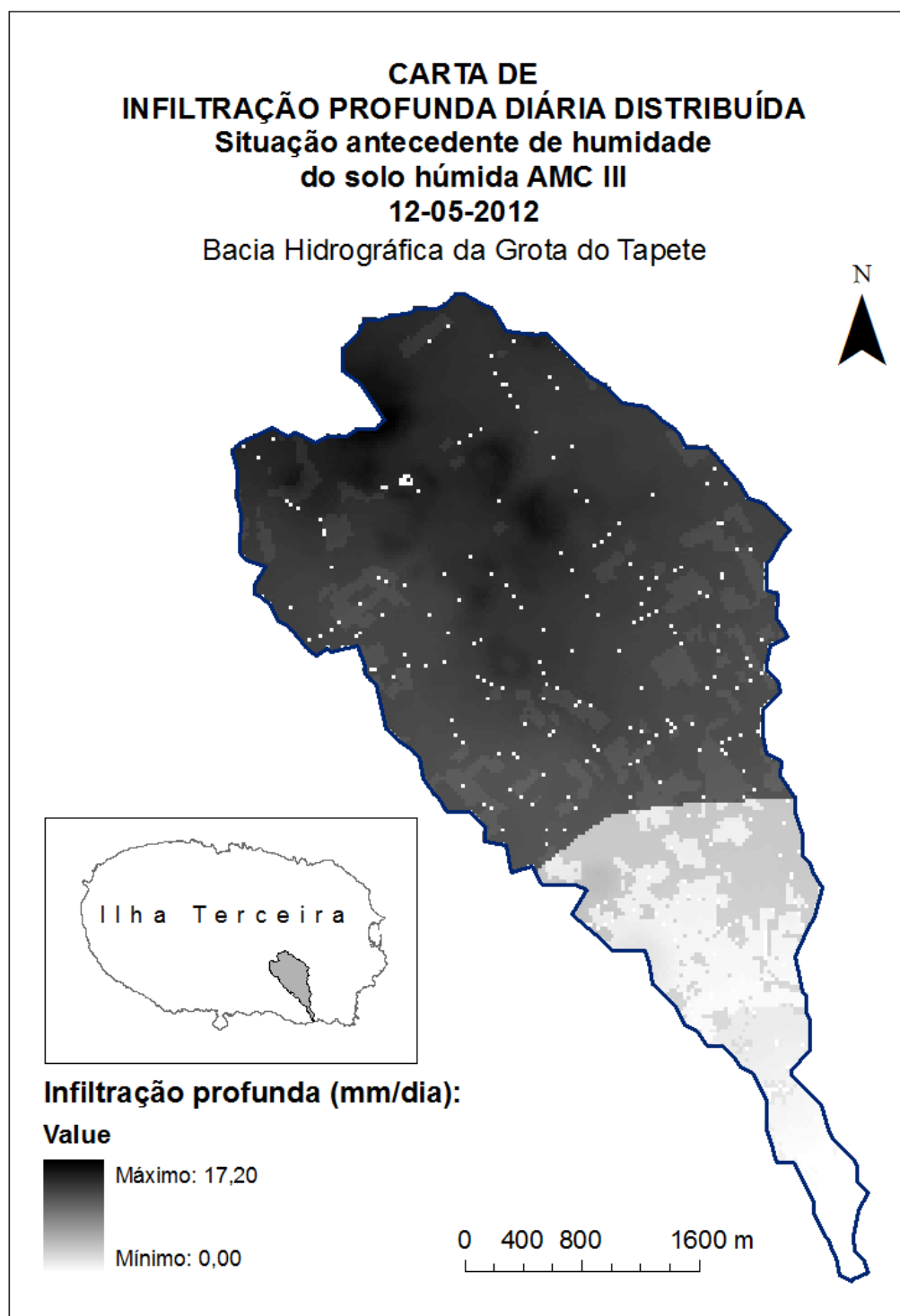


Figura 84 Carta de infiltração profunda diária distribuída da bacia hidrográfica da Grotta do Tapete, para o dia 12-05-2012 e para a situação antecedente de humidade do solo AMC III.

### **7.2.7 BALANÇO HÍDRICO**

Foi efetuada uma avaliação quantitativa dos parâmetros hidrometeorológicos diários distribuídos para a bacia hidrográfica da Grotta do Tapete, nomeadamente, a precipitação, a evapotranspiração de referência, a evapotranspiração real, o escoamento superficial e a infiltração profunda.

Na tabela seguinte (Tabela 19) são apresentados os resultados da quantificação acima referida, bem como os valores observados/simulados e os obtidos através do modelo MHIDRIV na estação da Granja, dado que esta se localizada dentro da bacia supramencionada.

7 APLICAÇÃO DO MODELO MHIDRIV A UM EVENTO DE PRECIPITAÇÃO EXTREMA

Estação da Granja	Precipitação diária (mm)		Evapotranspiração de referência (mm dia <sup>-1</sup> )		Evapotranspiração real (mm dia <sup>-1</sup> )	Escoamento superficial diário (mm)		Infiltração profunda (mm dia <sup>-1</sup> )	
	Observada	Modelo MHDRIV	Simulada	Modelo MHDRIV	Modelo MHDRIV	Observado	Modelo MHDRIV	Calculada com base nos parâmetros observados e ET <sub>0</sub> simulada	Calculada com base nos valores obtidos através do modelo MHDRIV
<b>10-05-2012</b>	39,30	30,06	0,33	0,60	0,60	0,01	0,29	38,69	29,17
<b>11-05-2012</b>	41,70	31,65	0,42	0,74	0,74	0,46	1,93	40,50	28,98
<b>12-05-2012</b>	21,70	18,39	0,64	1,09	1,94	1,09	1,62	18,67	14,83

Tabela 19 Precipitação diária, evapotranspiração de referência diária, evapotranspiração real diária, escoamento superficial diário e infiltração profunda diária: valores observados/simulados e valores resultantes da aplicação do modelo MHDRIV.

## *7 APLICAÇÃO DO MODELO MHIDRIV A UM EVENTO DE PRECIPITAÇÃO EXTREMA*

## 7 APLICAÇÃO DO MODELO MHIDRIV A UM EVENTO DE PRECIPITAÇÃO EXTREMA

Os gráficos seguintes (Gráfico 75, Gráfico 76 e Gráfico 77) apresentam os balanços hídricos efetuados com os valores observados/simulados e os obtidos através do modelo MHIDRIV, para a estação da Granja, para cada um dos dias em o modelo referido foi corrido em Maio de 2012.

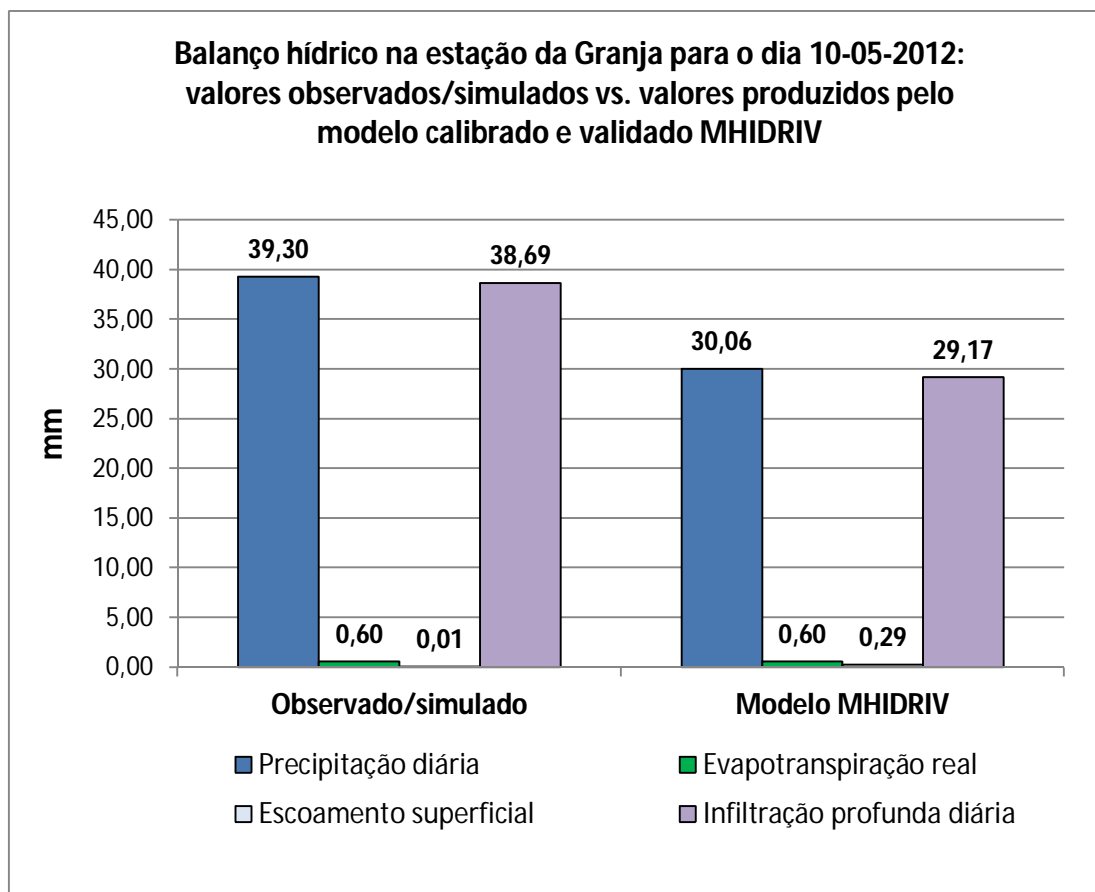


Gráfico 75 Balanço hídrico na estação da Granja no dia 10-06-2012: valores observados/simulados vs. Valores produzidos pelo modelo MHIDRIV.

7 APLICAÇÃO DO MODELO MHIDRIV A UM EVENTO DE PRECIPITAÇÃO EXTREMA

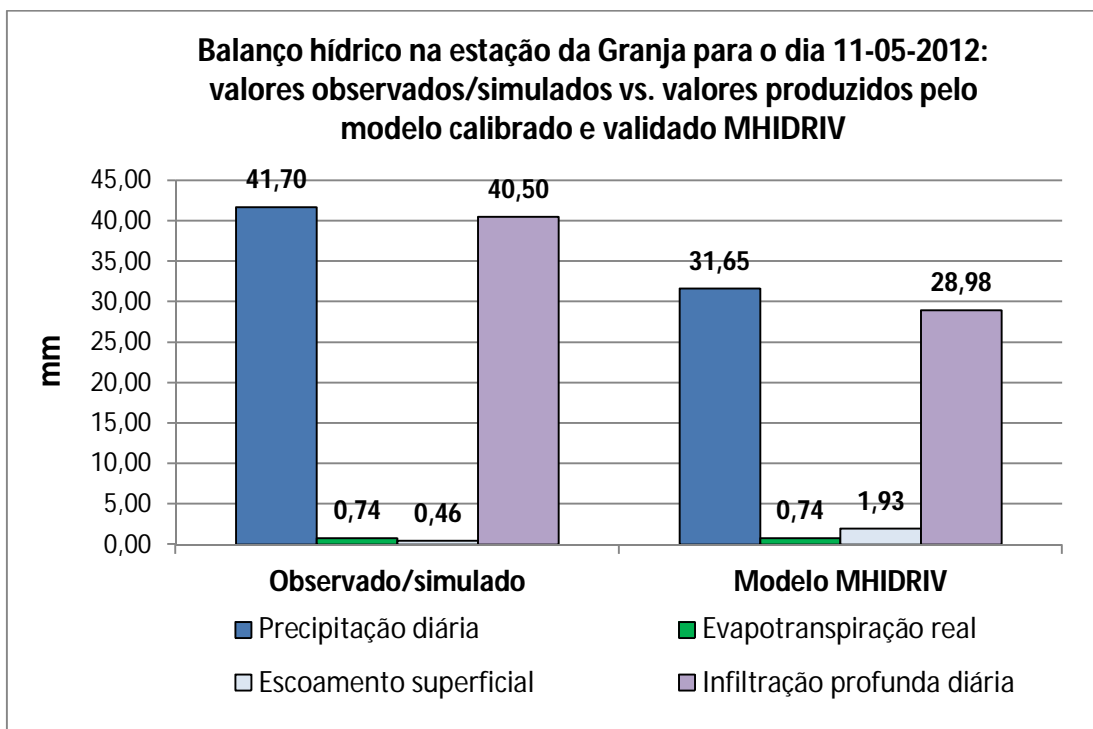


Gráfico 76 Balanço hídrico na estação da Granja no dia 11-06-2012: valores observados/simulados vs. Valores produzidos pelo modelo MHIDRIV.

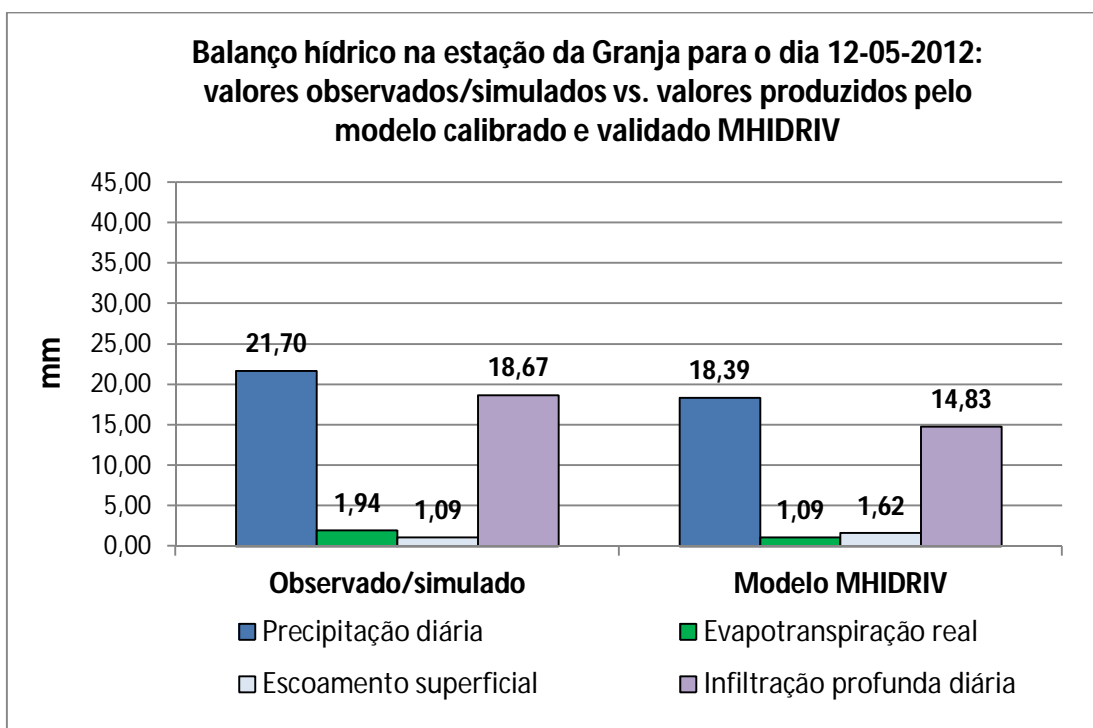


Gráfico 77 Balanço hídrico na estação da Granja no dia 12-06-2012: valores observados/simulados vs. Valores produzidos pelo modelo MHIDRIV.

---

## 8 REPERCUSSÕES

---

O trabalho realizado foi de encontro às orientações do Plano Regional da Água da Região Autónoma dos Açores (PRAA, 2011), que salienta a salvaguarda e a preservação quantitativa e qualitativa dos recursos hídricos, dando especial relevo a ações que minimizem riscos naturais ou antropogénicos, impulsionem o ordenamento do domínio hídrico e do território e promovam o conhecimento técnico e científico.

A modelação da hidrologia de superfície através do modelo MHIDRIV criado contribuiu para a compreensão do funcionamento da bacia hidrográfica da Grotta do Tapete, para a sua melhor gestão e para a proteção eficaz dos recursos hídricos, em relação à poluição industrial, agrícola e doméstica e à seca, através do contributo para um eficaz ordenamento do território.

Contribuirá para a elaboração do futuro plano de ordenamento da bacia hidrográfica da Grotta do Tapete, bem como de outras bacias hidrográficas onde se aplique a mesma metodologia.

Como bem escasso, a solução para o problema quantitativo e qualitativo da água reside da sua preservação, de forma eficaz para o bem coletivo.

A realização deste trabalho gerou um contributo, em alguns casos, diretamente, noutros, indiretamente, no sentido de:

- Melhorar a oferta de água para abastecimento às populações e às atividades económicas, por forma a satisfazer os consumos de acordo com as exigências de cada uma das utilizações;
- Promover a proteção das origens de água;
- Promover a proteção e melhoria da qualidade da água dos meios hídricos naturais subterrâneos;
- Proteger o recurso água e o meio envolvente, com vista à sua valorização ambiental;
- Minimizar as situações de risco de poluição acidental;

## 8 REPERCUSSÕES

- Contribuir para a prevenção da poluição associada às atividades industriais;
- Contribuir para a definição de adequadas diretrizes e condicionamentos nos instrumentos de gestão territorial e integração das políticas de recursos hídricos nos diferentes instrumentos de gestão do território;
- Promover o licenciamento e controlo dos usos do domínio hídrico;
- Promover o planeamento e gestão integrada das águas superficiais, subterrâneas, fomentando o ordenamento dos usos e ocupações do domínio hídrico, nomeadamente da bacia hidrográfica da Grotta do Tapete e das zonas de recarga de aquíferos associadas, através da elaboração de instrumentos de gestão do território adequados;
- Aprofundar o conhecimento técnico e científico sobre os recursos hídricos;
- Promover a conceção, implementação e atualização de um sistema de informação relativo ao estado e utilizações do domínio hídrico.

Este trabalho deu o seu contributo, ainda, para a implementação de alguns dos princípios técnicos de planeamento de recursos hídricos do Plano Regional da Água (PRAA, 2011), que deverão ser tidos em consideração na implementação de políticas que possam interferir com o estado dos recursos hídricos na Região, nomeadamente:

### a) Princípios de planeamento e gestão:

i) Racionalidade - a água deverá ser gerida de forma rigorosa e sustentada, reconhecendo que se trata de um recurso escasso e vulnerável. A exploração das reservas de água dos Açores deverá ter sempre em consideração a recarga dos aquíferos, a qual depende, entre outros fatores, da infiltração, a qual será quantificada nesta Tese, para a bacia hidrográfica em causa, não podendo ser efetuada a uma taxa superior à sua reposição;

iii) Cooperação - o carácter territorialmente alargado dos recursos hídricos exige a análise de uma grande variedade de domínios, pelo que é importante dispor de equipas multidisciplinares, que possuam conhecimento das especificidades da Região e que apresentem capacidade para lidar com um amplo conjunto de matérias sectoriais,

## 8 REPERCUSSÕES

bem como com as relações que se estabelecem entre elas. A Tese proposta aportará o seu contributo na sua área específica de atuação;

vi) Utilização da melhor tecnologia - a seleção das soluções técnicas deverá ter em linha de conta critérios como a eficiência, a adequação, o custo ou o seu potencial de adaptação à realidade física, económica e social das diferentes ilhas do arquipélago, procurando, assim, adotar-se a tecnologia atual mais apropriada para a resolução dos problemas. As informações a obter com a tese de Mestrado proposta poderão contribuir para a escolha da melhor tecnologia.

### b) Princípios ambientais:

i) Prevenção - a gestão dos recursos hídricos do arquipélago deverá ser desenvolvida tendo em conta que será sempre preferível adotar medidas preventivas que impeçam a ocorrência de efeitos ambientais adversos ou irreversíveis do que recorrer, mais tarde, a medidas corretivas desses efeitos. A tese de Mestrado proposta visa conhecer o comportamento do parâmetro infiltração na bacia hidrográfica em causa, sendo este parâmetro um dos fatores determinantes para a vulnerabilidade dos aquíferos que são recarregados através daquela bacia. Assim, contribuirá para a identificação das zonas de maior vulnerabilidade e, conseqüentemente, para a identificação das zonas que obrigam à adoção de medidas preventivas que impeçam a ocorrência de efeitos ambientais adversos ou irreversíveis.

ii) Proteção - a gestão dos recursos hídricos não deverá apenas apresentar como objetivo o cumprimento dos requisitos mínimos de proteção, uma vez que essa estratégia poderá potenciar a ocorrência de situações de risco. De acordo com o acima descrito, a tese de Mestrado proposta contribuirá para a proteção dos recursos hídricos, através da referenciação geográfica de um dos fatores (infiltração) que condicionam a vulnerabilidade dos aquíferos.

### d) Princípios de informação e participação:

i) Participação sustentada - a gestão eficaz de qualquer recurso não poderá ser alcançada através de decisões baseadas em informação pouco sólida, pelo que deverá ser aprofundado continuamente esse domínio do conhecimento. A informação deverá

## 8 REPERCUSSÕES

ser também disponibilizada, de forma a fomentar a participação de todos os agentes envolvidos na gestão do recurso. A tese de Mestrado em causa contribuirá para o aprofundamento do conhecimento, no que diz respeito aos recursos hídricos da bacia hidrográfica em questão, potenciando a aplicação do princípio da participação sustentada.

Espera-se que este trabalho contribua para inspirar possibilidades para o uso conjugado da informação geográfica na análise de outros problemas ambientais.

Esta metodologia pode ser aplicada à Proteção Civil com algumas alterações, nomeadamente:

(a) para avaliação do risco de cheias e impactes de eventos extremos de precipitação;

(b) para a previsão, em tempo real, do escoamento superficial, utilizando dados meteorológicos.

O maior ganho de informação proveniente da utilização de SIG's na modelação hidrológica é o da descrição espacial dos processos envolvidos, quer de infiltração profunda, quer de escoamento, seja ainda na descrição da recessão dos aquíferos. Assim torna-se possível a identificação das áreas mais vulneráveis em períodos de secura, bem como daquelas mais produtivas hidricamente que, por sua vez, poderão justificar ou invalidar espacialmente determinadas opções de planeamento para exploração dos recursos hídricos.

## 9 REGIONALIZAÇÃO

---

O modelo MHIDRIV criado poderá ser utilizado a nível de regiões insulares com andossolos (solos vulcânicos), como é o caso de todas as ilhas do Arquipélago dos Açores, com algumas alterações em termos de:

- (a) Calibração das equações empíricas de evapotranspiração de referência e de precipitação para o local em estudo;
- (b) Configuração da ocupação de solo.



---

## 10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

- AGOSTINHO, J., 1948. *O Clima dos Açores: contribuição para o estudo da sua variação secular*. Açoreana 4 (3).
- AMORIM, R.C., ARISTIDES, R.; LEITE, C.C.; LEAL, B.G.; SILVA, J.B., 2008. *Avaliação do desempenho de dois métodos de espacialização da precipitação pluvial para o Estado de Alagoas*. Acta Sci. Technol. Maringá, v. 30, n.º 1.
- ALLEN, R. G., PEREIRA, L. S.; RAES, D., SMITH, 1998. M. *Crop Evapotranspiration. Guidelines for Computing Crop Water Requirements*. FAO Irrig. & Drain. Pap. 56, Rome.
- AZEVEDO, E. B, 1996. *Modelação do clima insular à escala local. Modelo CIELO aplicado à Ilha Terceira*. Dissertação de Doutoramento. Universidade dos Açores. Açores.
- AZEVEDO, E.M.B.; PEREIRA, L.S. e ITIER, B., 1999. *Modelling the local climate in island environments: water balance applications*. Agricultural Water Management. 40.
- AZEVEDO, E.M.B.; RODRIGUES, A.P.C.; DIOGO, P.A.; RODRIGUES, M.C.S.M., 2002. *Infiltração e escoamento em pequenas ilhas vulcânicas. Aproximação genérica à quantificação da infiltração e do escoamento nas ilhas dos Açores*. Comunicações do VI Congresso da Água.
- AZEVEDO, J.M.M., 1998. *Geologia e Hidrogeologia da Iha das Flores (Açores – Portugal)*. Tese de Doutoramento. Departamento de Ciências da Terra. Universidade de Coimbra.
- BETTENCOURT, M.L., 1977. *O clima dos Açores como recurso natural, especialmente em Agricultura e Indústria do Turismo*. O clima de Portugal. Fasc. XVIII, Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica, Lisboa.
- BRAVO, E.T.; COELLO, J.A., 1979. *Contribucion a la hidrogeologia de la Caldera de Taburiente, La Palma, Canárias*. I Simposio Nacional de Hidrogeologia. Pamplona.
- CORREIA, F.N., 1984. *Alguns procedimentos adoptados pelo Soil Conservation Service para estudo do impacto da urbanização nos caudais de cheia*. Informação Técnica ITH7, LNEC, Lisboa.
- Decreto Legislativo Regional n.º 19/2003/A. DR 95 SÉRIE I-A de 2003-04-23. Região Autónoma dos Açores - Assembleia Legislativa Regional - Aprova o Plano Regional da Água da Região Autónoma dos Açores.
- DIAS, E., 1988. *Carta da vegetação da ilha Terceira*. 1.ªs Jornadas atlânticas de protecção do meio ambiente. Açores, Madeira, Canárias e Cabo Verde. Angra do Heroísmo, 25 de Janeiro – 1 de Fevereiro 1988.

## 10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DIAS, E., 1996. *Vegetação natural dos Açores. Ecologia e sintaxonomia das florestas naturais*. Dissertação de doutoramento, Departamento de Ciências Agrárias, Universidade dos Açores, Angra do Heroísmo.
- DROTRH/INAG, 2001. *Plano regional da água. Relatório técnico. Versão para consulta pública*. DROTRH - INAG, Ponta Delgada.
- ENDERLIN, H. C. e E, M, MARKOWITZ, 1962. *The Classification of the soil and vegetative cover types of California watersheds according to their influences on synthetic hydrographs*. Presented at the Second Western National Meeting of the American Geophysical Union, Stanford University, Palo Alto, California.
- FALKLAND, A e CUSTODIO, E., 1991. *Hydrology and water resources of small islands: a practical guide*. Ed. A. Falkland. Publicação da UNESCO.
- FONTES, J.C., 1999. *Comportamento hidrológico dos solos agrícolas da Terceira: avaliação e simulação com o modelo OPUS*. Dissertação de doutoramento, Departamento de Ciências Agrárias, Universidade dos Açores, Angra do Heroísmo.
- FONTES, J. C.; GONÇALVES, M. C.; PEREIRA, L. S., 2002a. *Soil hydraulic properties of volcanic soils of Terceira, Azores*. In: Pagliai, M. and Jones, R. (eds.) Sustainable land management - Environmental protection - A soil physical approach. Advances in GeoEcology 35, 2002a.
- FONTES, J. C.; PEREIRA, L. S.; SMITH, R. E., 2002b. *Runoff and erosion in volcanic soils: testing deterministic and semi-empirical modelling*. In: Pagliai, M. and Jones, R. (eds.) Sustainable land management - Environmental protection - A soil physical approach. Advances in GeoEcology 35, 2002b.
- HERAS, R.J., 1974. *Estudio de la escorrentía superficial en islas de tipo volcánico*. Simposio Internacional sobre Hidrologia de Terrenos Volcanicos, Lanzarote, Canarias. MOP/PNUD/ SGOP/CEH/UNESCO.
- HERAS, R., ALTARES, P.; LARA, A., 1974. *Estudio de crecidas torrenciales en regiones de tipo volcánico*. Simposio Internacional sobre Hidrologia de Terrenos Volcanicos, Lanzarote, Canarias. MOP/PNUD/ SGOP/CEH/UNESCO.
- HERAS, R. e SAÉNZ-OIZA, J., 1974. *Estudio hidrológico de base de las islas Canarias*. Simposio Internacional sobre Hidrologia de Terrenos Volcanicos, Lanzarote, Canarias. MOP/PNUD/ SGOP/CEH/UNESCO.
- KEMP, K.K., 1993. *Environmental modelling with GIS. A strategy for dealing with spatial continuity – NCGIA (National Center for Geographic Information and Analysis) – Technical Report, N.º 93-3*.
- LAL, R., 2005 (ed.). *Encyclopedia of soil science*. Second edition. Taylor and Francis.
- LLOYD, E. F. e COLLIS, S. K., 1981. *Geothermal prospection – Ilha Terceira, Açores: Geological report*. Geothermal Energy of New Zealand: Mitsubishi Corporation. Secretaria Regional do Comércio e Indústria.
- LENCASTRE, A. e FRANCO, F.M., 1992. *Lições de Hidrologia*. 2<sup>nd</sup> ed., Universidade Nova de Lisboa.

## 10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- MADRUGA, J.S., MENESES, J.G.A.; AZEVEDO, E.M.B, 1986. *Delimitação das bacias hidrográficas da ilha Terceira*. Universidade dos Açores, Departamento de Ciências Agrárias. Angra do Heroísmo.
- MATOS, J., 2007. *Modelos Digitais de Terreno*. Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura (Versão 2.0).
- PEREIRA, L.S., 2004. *Necessidades de Água e Métodos de Rega*. Publ. Europa-América, Lisboa.
- PINHEIRO, J.A., 1990. *Caracterização dos solos da ilha Terceira*. Tese de Doutoramento. Departamento de Ciências Agrárias, Universidade dos Açores.
- RALLISON, R. E., 1978, Personnel Communication, Letter to SCS Hydraulic Engineers dated June 27, 1978.
- RODRIGUES, F. C., 2002. *Hidrogeologia da Ilha Terceira (Açores, Portugal)*. Dissertação apresentada à Universidade dos Açores para o efeito de obtenção do Grau de Doutor no Ramo de Engenharia do Ambiente, especialidade Engenharia do Ambiente. Departamento de Ciências Agrárias da Universidade dos Açores, Angra do Heroísmo.
- RODRIGUES, R., 1992. *Avaliação das disponibilidades hídricas da ilha de S. Miguel Açores*. Rel. 217/92 - NHHF, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.
- RODRIGUES, R., 1993a. *Plano para a gestão de recursos hídricos na ilha de S. Miguel (Açores)*. Rel. 21/93 - NHHF, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.
- RODRIGUES, R., 1993b. *Condensação da água de neblinas como incremento da precipitação – relato de experiências prévias*. Rel. 113/93-NHHF, LNEC.
- RODRIGUES, R., 1995. *Hidrologia de Ilhas Vulcânicas*. Tese para a obtenção do grau de especialista. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.
- SEIXAS, J., 2007. *Análise Espacial*. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.
- SOIL CONSERVATION SERVICES (SCS), 1972. *Estimation Of Direct Runoff from storm rainfall*. National Engineering Handbook, Chapter 10, US-Government Printing Office, Washington, D.C..
- SELF, S., 1974. *Recent volcanism on Terceira, Azores*. PhD thesis. London University, Imperial College.
- SELF, S., 1976. *The recent volcanology of Terceira, Azores*. Jl. Geol. Soc. London.
- SELF, S. e GUNN, B.M., 1976. *Petrology, volume and age relations of alkaline and saturated peralkaline volcanics from Terceira, Azores*. Contrib. Mineral. Petrol. 54.
- SMITH, R. E., 1992. *Opus: An integrated simulation model for transport of nonpoint-sources pollutants at the field scale*. Volume I, documentation. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, ARS-98.

## 10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- SMITH, R.E. e PARLANGE, J.Y., 1978. *A parameter-efficient hydrologic infiltration model*. Water Resource Research 14, 1978.
- WOODWARD, D.E.; HAWKINS, R.H.; HJELMFELT, A.T.; MULLEM, J.A.; QUAN, Q.D., 2002. *Curve Number Method: Origins, Applications and Limitations*. Second Federal Interagency Hydrologic Modeling Conference, Las VegasNevada, U.S.A.
- WILLIAMS, J.R.; JONES, C.A.; DYKE, P.T., 1990 – *The EPIC model*, Sharpley, A.N.; Williams, J.R. (ed.) – EPIC: Erosion / productivity impact calculator: 1. Model documentation. U.S. Department of Agriculture Technical Bulletin N.º 1768.

### **Websites consultados:**

- ArcGIS 9.3 Desktop Help, 2012. ESRI - Environmental Systems Research Institute.  
<http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?TopicName=welcome>, Agosto de 2012.
- ArcGIS Spatial Analyst Overview, 2009. ESRI - Environmental Systems Research Institute.  
<Http://www.ESRI®.com/software/ArcGIS®/extensions/spatialanalyst/index.html>, Outubro de 2009.
- A União – Jornal Online, 2009. A União. <http://www.auniao.com/noticias/ver.php?id=15163>, Outubro de 2009.
- Cartograma – Carta militar de Portugal 1 : 25 000 (Açores), 2010. Instituto Geográfico do Exército. <http://www.igeoe.pt/cartoteca/cartogramaM889.htm>, Outubro de 2010.
- ESRI – GIS Mapping Software, Solutions, Services, Map Apps and Data, 2009. ESRI- Environmental Systems Research Institute. [www.ESRI®.com](http://www.ESRI®.com), Outubro de 2009.
- ESRI – Portugal, 2010. ESRI-- Environmental Systems Research Institute.  
<http://www.ESRI®portugal.pt/ArcGIS®.html>, Outubro de 2010.
- GIS and Hidrology, 2009 Wikipedia. [http://en.wikipedia.org/wiki/GIS\\_and\\_Hydrology](http://en.wikipedia.org/wiki/GIS_and_Hydrology), Outubro de 2009.
- IGeoE – SIG, 2010. Instituto Geográfico do Exército.  
<http://www.igeoe.pt/igeoearcweb/acoeres/default.asp>, Outubro de 2010.
- I.M. (Instituto de Meteorologia), 2012. Instituto de Meteorologia, I. P. Portugal.  
<http://www.meteo.pt/pt/>, Agosto de 2012.
- Instituto Geográfico do Exército, 2011. [http://www.igeoe.pt/produtos/inf\\_digital.asp](http://www.igeoe.pt/produtos/inf_digital.asp), Fevereiro de 2011.

## 10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Portal do Governo Regional dos Açores, 2009. Governo Regional dos Açores.  
<http://azores.gov.pt/Portal/pt/novidades/Governo+avan%C3%A7a+com+planos+de+ordenamento+das+bacias+hidrogr%C3%A1ficas+de+onze+lagoas.htm>, Outubro de 2009.
- P.R.A.A. (Plano Regional da Água dos Açores), 2001. Direção Regional do Ordenamento do Território e dos Recursos Hídricos / Secretaria Regional do Ambiente, Instituto da Água.  
[http://www.inag.pt/inag2004/port/a\\_intervencao/planeamento/prarelat.html](http://www.inag.pt/inag2004/port/a_intervencao/planeamento/prarelat.html), Outubro de 2009.
- Projeto CLIMAAT, 2011. [http://www.climaat.angra.uac.pt/PDFs/Fisiografia\\_TERCEIRA.pdf](http://www.climaat.angra.uac.pt/PDFs/Fisiografia_TERCEIRA.pdf), Março de 2011.
- Projeto CLIMAAT, 2012. <http://www.climaat.angra.uac.pt/>, Agosto de 2012.

## 10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### Cartas:

<b>Tema:</b>	<b>Carta Militar</b>
Fonte:	Secretaria Regional da Ciência, Tecnologia e Equipamentos / Direção dos Serviços de Cartografia e Informação Geográfica
Tipo de informação:	DWG
Escala:	1:5000
Data:	2004

<b>Tema:</b>	<b>Hidrografia</b>
Fonte:	Instituto Geográfico do Exército
Tipo de informação:	<i>Shapefile</i>
Escala:	1:10.000
Data:	2000

<b>Tema:</b>	<b>Linha de Costa</b>
Fonte:	Instituto Geográfico do Exército
Tipo de informação:	<i>Shapefile</i>
Escala:	1:10.000
Data:	2000

## 10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

<b>Tema:</b>	<b>Altimetria</b>
Fonte:	Instituto Geográfico do Exército
Tipo de informação:	<i>Shapefile</i>
Escala:	1:25.000
Data:	2004

<b>Tema:</b>	<b>Usos do Solo</b>
Fonte:	Instituto Geográfico do Exército
Tipo de informação:	<i>Shapefile</i>
Escala:	1:25.000
Data:	2004

<b>Tema:</b>	<b>Ortofotos</b>
Fonte:	Secretaria Regional da Ciência, Tecnologia e Equipamentos / Direção dos Serviços de Cartografia e Informação Geográfica
Tipo de informação:	Ortofotos
Escala:	1:5.000
Data:	2004