

INDICADORES DE SECA PROLONGADA NA PARTE PORTUGUESA DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS MINHO E LIMA



www.risc-ml.eu

Indicadores de Seca Prolongada na parte portuguesa das bacias hidrográficas dos rios Minho e Lima



FICHA TÉCNICA

| | | | |
|----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|---|
| Data: | 2019-09-30 | Versão do documento: | 1 |
| Código da atividade do projeto: | 2 | | |
| Entidade responsável: | Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto  | | |
| Equipa técnica: | Rodrigo Maia (Coordenador) Miguel Costa Juliana Mendes | | |

Indicadores de Seca Prolongada na parte portuguesa das bacias hidrográficas dos rios Minho e Lima

ÍNDICE

| | | |
|----------|----------------------------------------------------------|-----------|
| 1 | Introdução | 6 |
| 1.1 | Âmbito | 6 |
| 1.2 | Objetivos | 7 |
| 2 | Indicadores de Seca Prolongada | 9 |
| 2.1 | Metodologia | 9 |
| 3 | Bacia Hidrográfica do rio Lima | 13 |
| 3.1 | Caracterização geográfica da bacia hidrográfica | 13 |
| 3.2 | Seleção e tratamento das variáveis | 13 |
| 3.2.1 | Precipitação | 13 |
| 3.2.2 | Escoamento | 20 |
| 3.3 | Reescalonamento das variáveis | 30 |
| 3.3.1 | Índice de Estado SPI | 30 |
| 3.3.2 | Índice de Estado SRI | 32 |
| 3.4 | Indicador de Seca Prolongada | 34 |
| 3.4.1 | Parte Portuguesa da bacia Hidrográfica do rio Lima | 34 |
| 3.4.2 | Comparação entre a parte portuguesa e espanhola da bacia | 37 |
| 4 | Bacia Hidrográfica do rio Minho | 40 |
| 4.1 | Caracterização geográfica da bacia hidrográfica | 40 |
| 4.2 | Seleção das variáveis | 40 |
| 4.2.1 | Precipitação | 40 |
| 4.2.2 | Escoamento | 44 |
| 4.3 | Reescalonamento das variáveis | 49 |
| 4.3.1 | Índice de Estado SPI | 49 |
| 4.3.2 | Índice de Estado SRI | 51 |
| 4.4 | Indicador de Seca Prolongada | 53 |
| 4.4.1 | Parte Portuguesa da Bacia Hidrográfica do rio Minho | 53 |
| 4.4.2 | Comparação entre a parte portuguesa e espanhola da bacia | 56 |
| 5 | Conclusão | 59 |
| 6 | Bibliografia | 61 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1: Metodologia de cálculo dos indicadores de Seca Prolongada (adaptado de CHMS, 2018)..... | 10 |
| Figura 2: Polígonos de Thiessen considerados no cálculo da precipitação média mensal ponderada na Bacia Hidrográfica do rio Lima | 15 |
| Figura 3: Correlação de valores mensais entre a precipitação mensal registada na UTS 02 Miño-Bajo e a precipitação na parte portuguesa da bacia do rio Lima | 18 |
| Figura 4: Evolução temporal da precipitação mensal na Bacia Hidrográfica do rio Lima entre 10/1979 - 09/2017..... | 19 |
| Figura 5: Evolução temporal do SPI12 na Bacia Hidrográfica do rio Lima entre 10/1980 - 09/2017. | 19 |
| Figura 6: Estações hidrométricas ativas na Bacia Hidrográfica do rio Lima..... | 20 |
| Figura 7: Sub-bacia na secção de Pontilhão de Celeiros, no rio Vez..... | 21 |
| Figura 8: Representação do modelo hidrológico da sub-bacia de Pontilhão de Celeiros. | 23 |
| Figura 9: Comparação entre caudal observado e caudal simulado para o período de calibração (10/1980 - 09/1990)..... | 27 |
| Figura 10: Comparação entre o caudal observado e simulado para o período de validação (10/2003 - 11/2006)..... | 27 |
| Figura 11: Evolução temporal do caudal mensal simulado afluente à EH Pontilhão de Celeiros, entre 01/10/1990 - 30/09/2017 | 28 |
| Figura 12: Evolução do caudal mensal registado na estação de Pontilhão de Celeiros, entre 10/1979 - 09/2017..... | 29 |
| Figura 13: Evolução do SRI ₁₂ na parte portuguesa da bacia rio Lima, entre 10/1980 - 09/2017. | 29 |
| Figura 14: Evolução temporal do Índice de Estado SPI na parte portuguesa da Bacia Hidrográfica do rio Lima | 31 |
| Figura 15: Evolução temporal do Índice de Estado SRI na parte portuguesa da bacia Hidrográfica do rio Minho. | 33 |

Indicadores de Seca Prolongada na parte portuguesa das bacias hidrográficas dos rios Minho e Lima

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 16: Evolução temporal do Índice de Estado de Seca Prolongada na parte portuguesa da Bacia Hidrográfica do rio Lima | 35 |
| Figura 17: Comparação entre a evolução dos indicadores de Seca Prolongada entre a parte portuguesa e espanhola (UTS 06 Limia) da bacia do rio Lima | 38 |
| Figura 18: Polígonos de Thiessen usados no cálculo da precipitação média mensal ponderada na Bacia Hidrográfica do rio Minho | 41 |
| Figura 19: Correlação de valores mensal entre a precipitação mensal registada na UTS 02 Miño-bajo e a precipitação na parte portuguesa da bacia do rio Minho. | 43 |
| Figura 20: Evolução temporal da precipitação mensal na Bacia Hidrográfica do rio Minho entre 10/1979 - 09/2017. | 43 |
| Figura 21: Evolução temporal do SPI ₁₂ na parte portuguesa da Bacia Hidrográfica do rio Minho, no período de 10/1980 - 09/2017. | 44 |
| Figura 22: Estações hidrométricas ativas presentes na bacia Hidrográfica do rio Minho | 44 |
| Figura 23: Localização das sub-bacias de Pontilhão de Celeiros (Lima) e de Segude (Minho) | 45 |
| Figura 24: Representação do modelo hidrológico da sub-bacia de Segude | 46 |
| Figura 25: Evolução temporal do caudal médio mensal simulado na secção de Segude, entre 10/1979 – 09/2017 | 48 |
| Figura 26: Evolução temporal do SRI ₁₂ na parte portuguesa da bacia hidrográfica do rio Minho, para o período de 10/1980 – 09/2017..... | 48 |
| Figura 27: Evolução temporal do índice de Estado SPI na parte portuguesa da bacia Hidrográfica do Rio Minho. | 50 |
| Figura 28: Evolução temporal do Índice de Estado SRI na parte portuguesa da Bacia Hidrográfica do rio Minho | 52 |
| Figura 29: Evolução temporal do Índice de Estado de Seca Prolongada na parte portuguesa da bacia Hidrográfica do rio Minho. | 54 |
| Figura 30: Comparação entre a evolução dos indicadores de Seca prolongada entre a parte portuguesa e espanhola (UTS 02 Miño-Bajo) da bacia do rio Minho..... | 57 |

ÍNDICE DE TABELAS

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1: Classificação do índice SPI para os períodos secos e períodos húmidos e correspondente probabilidade de ocorrência (adaptado de CHMS, 2018)..... | 11 |
| Tabela 2: Classificação do índice SRI para períodos secos e períodos húmidos e correspondente probabilidade de ocorrência (adaptado de CHMS, 2018)..... | 11 |
| Tabela 3: Estações meteorológicas consideradas para o cálculo da precipitação média mensal ponderada na Bacia Hidrográfica do rio Lima. | 14 |
| Tabela 4: Área de influência dos polígonos de Thiessen associados a cada uma das estações meteorológicas usadas no cálculo da precipitação média mensal ponderada na Bacia Hidrográfica do rio Lima..... | 16 |
| Tabela 5: Evapotranspiração Potencial (mm) considerada na modelação hidrológica da sub-bacia de Pontilhão de Celeiros. | 25 |
| Tabela 6: Valores de SPI considerados no seu reescalonamento (bacia do rio Lima) ... | 30 |
| Tabela 7: Probabilidade acumulada de ocorrência associada aos valores de SPI considerados no processo de reescalonamento (bacia do rio Lima)..... | 31 |
| Tabela 8: Evolução mensal do índice de Estado SPI na parte portuguesa da bacia Hidrográfica do rio Lima | 32 |
| Tabela 9: Valores de SRI considerados no seu reescalonamento (bacia do rio Lima)... | 33 |
| Tabela 10: Probabilidade acumulada de ocorrência associada aos valores de SRI considerados no processo de reescalonamento (bacia do rio Lima)..... | 33 |
| Tabela 11: Evolução mensal do Índice de Estado SRI na parte portuguesa da Bacia Hidrográfica do rio Lima | 34 |
| Tabela 12: Evolução mensal do Índice de Estado de Seca Prolongada na parte portuguesa da Bacia Hidrográfica do rio Lima. | 36 |
| Tabela 13: Eventos de Seca Prolongada verificados na parte portuguesa da bacia Hidrográfica do rio Lima, entre 10/1980 - 09/2017 | 37 |
| Tabela 14: Eventos de Seca Prolongada verificados na parte espanhola da bacia Hidrográfica do rio Lima (UTS 06 Limia), entre 1980/1981 - 2016/2017..... | 38 |
| Tabela 15: Estações meteorológicas consideradas para o cálculo da precipitação média mensal ponderada na bacia Hidrográfica do rio Minho..... | 41 |

Indicadores de Seca Prolongada na parte portuguesa das bacias hidrográficas dos rios Minho e Lima

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 16: Área de influência dos polígonos de Thiessen associados às estações meteorológicas usadas no cálculo da precipitação média mensal na Bacia Hidrográfica do rio Minho | 42 |
| Tabela 17: Valores de SPI considerados no seu reescalonamento (bacia do rio Minho) | 49 |
| Tabela 18: Probabilidade acumulada de ocorrência associada aos valores de SRI considerados no processo de reescalonamento (bacia do rio Minho)..... | 49 |
| Tabela 19: Evolução mensal do Índice de Estado SPI na parte portuguesa da bacia Hidrográfica do rio Minho | 51 |
| Tabela 20: Valores de SRI considerados no seu reescalonamento (bacia do rio Minho) | 52 |
| Tabela 21: Probabilidade acumulada de ocorrência associada aos valores de SRI considerados no processo de reescalonamento (bacia do rio Minho)..... | 52 |
| Tabela 22: Evolução mensal do índice de Estado SRI na parte portuguesa da bacia Hidrográfica do rio Minho | 53 |
| Tabela 23: Evolução mensal do Índice de Estado de Seca Prolongada na parte portuguesa da bacia Hidrográfica do rio Minho. | 55 |
| Tabela 24: Eventos de Seca Prolongada verificados na parte portuguesa da bacia Hidrográfica do rio Minho, entre outubro de 1980 e setembro de 2017..... | 56 |
| Tabela 25: Eventos de Seca Prolongada verificados na parte espanhola da bacia Hidrográfica do rio Minho (UTS 02 Miño-Bajo), entre 10/1980 – 09/2017..... | 57 |

1 Introdução

1.1 Âmbito

O projeto RISC_ML - *Prevención de Riesgos de Inundaciones y Sequías en la Cuenca Internacional del Miño-Limia*, tem como finalidade o desenvolvimento de medidas conjuntas, entre Espanha e Portugal, para a Região Hidrográfica Internacional das bacias dos rios Minho e Lima, orientadas para a prevenção, preparação, previsão e para uma melhor gestão dos fenómenos hidrológicos extremos, tais como inundações e secas, de modo a mitigar os seus efeitos (RISC_ML, 2019).

No que se refere às secas, um dos principais objetivos do projeto RISC_ML consiste na definição de indicadores novos e similares, a serem aplicados em comum, por Portugal e Espanha, nas bacias hidrográficas partilhadas.

A definição de indicadores similares pode permitir um planeamento, gestão e monitorização comum das situações de seca e escassez entre Espanha e Portugal, uma vez que permitirá uma igual caracterização e comparação dos eventos de seca e escassez nas partes portuguesas e espanholas das bacias hidrográficas partilhadas.

Ao contrário de Portugal, que apenas possui um Plano Nacional de Seca, na parte espanhola da região internacional encontra-se, desde 2007, implementado um Plano de Seca, denominado de *“Plan Especial de Actuación en Situaciones de Alerta y Eventual Sequía de la Demarcación Hidrográfica del Miño-Sil”*, referido ao longo deste documento por *PEASAES_DHMS*, tendo o mesmo sido revisto em 2017 e aprovado em 2018. Nesta nova versão do plano são claramente diferenciadas, através de diferentes indicadores, duas situações: Seca Prolongada e Escassez (CHMS, 2018).

A situação de Seca Prolongada está associada à redução da precipitação e dos recursos hídricos em regime natural, sendo esta independente da intervenção humana na gestão dos recursos hídricos para os diferentes usos socioeconómicos da água. Por sua vez, a Escassez conjuntural é definida como sendo um problema temporal de falta de recursos para satisfação das necessidades hídricas associadas aos diferentes usos socioeconómicos das águas (CHMS, 2018).

A necessidade de se realizar o diagnóstico e a diferenciação clara entre uma situação de Seca Prolongada e de Escassez, na nova versão do plano espanhol, deveu-se facto da Diretiva Quadro da Água (DQA) no seu artigo 4º indicar que *“a deterioração temporária do estado das massas de água não será considerada uma violação dos*

Indicadores de Seca Prolongada na parte portuguesa das bacias hidrográficas dos rios Minho e Lima

requisitos da presente diretiva se resultar de circunstâncias imprevistas ou excepcionais, de causas naturais ou de força maior que sejam excepcionais ou não pudessem razoavelmente ter sido previstas, particularmente inundações extremas e secas prolongadas, ou de circunstâncias devidas a acidentes que não pudessem razoavelmente ter sido previstos". Para além da deterioração temporal justificada do estado das massas de água, a situação de Seca Prolongada permite igualmente, segundo o artigo 18º do Regulamento de la Planificación Hidrológica (RPH), a redução justificada do caudal ecológico nas massas de água.

Assim, ao diferenciar as duas situações, torna-se possível a mitigação dos efeitos através da aplicação de medidas e ações diferenciadas.

1.2 Objetivos

Neste contexto, procurou-se transpor para a parte portuguesa das bacias hidrográficas dos rios Minho e Lima os procedimentos aplicados no âmbito espanhol, para definição e avaliação dos indicadores de Seca Prolongada e de Escassez, de forma a definir, em cada uma das duas bacias portuguesas, um sistema de indicadores similares ao estabelecidos em Espanha. Para tal, aplicou-se, a cada uma das bacias em análise, a metodologia de cálculo associada a cada um dos indicadores, descritas no PEASAES_DHMS.

Uma vez que se tratam de indicadores diferentes, o processo usado para definição de cada um deles, nas bacias em análises, será descrito em relatórios distintos. Neste sentido, o presente relatório apresenta, de forma detalhada, o procedimento que resultou na definição dos indicadores de Seca Prolongada, na parte portuguesa das bacias hidrográficas dos rios Minho e Lima, para o período de 01/10/1980 – 30/09/2017.

Para tal, tal como já referido, a metodologia seguida foi a presente no PEASAES_DHMS, encontrando-se a mesma descrita no ponto 2.1 deste documento. Esta começa com a seleção das variáveis a usar, as quais são reescaladas e agregadas, de forma ponderada, dando origem a único só indicador de Seca Prolongada, também denominado de “Índice de Estado de Seca Prolongada”.

Neste relatório, apresentar-se-á em primeiro lugar, a aplicação da metodologia à parte portuguesa da bacia do rio Lima (ponto 3 deste documento) e posteriormente à parte portuguesa da bacia do rio Minho (ponto 4 deste documento). Para além da definição do indicador de Seca Prolongada, efetua-se também, em cada uma das bacias, a

Indicadores de Seca Prolongada na parte portuguesa das bacias hidrográficas dos rios Minho e Lima



comparação do indicador resultante com o indicador verificado na parte espanhola da bacia correspondente.

De referir, que no que se refere à definição dos indicadores de Escassez, o procedimento usado para a definição dos mesmos foi similar ao trabalho apresentado neste documento, sendo abordado num outro relatório.

2 Indicadores de Seca Prolongada

De acordo com a Instrução Técnica para a elaboração dos novos Planos Especiais de Seca Espanhóis, os indicadores devem apresentar as seguintes características:

- Existência (ou possibilidade de produção) de uma série de referência que se estenda desde outubro de 1980 a setembro de 2012;
- O indicador deve ser representativo do âmbito geográfico de análise e da situação que se pretende detetar. O processo de seleção deverá determinar qual o melhor indicador ou combinação de indicadores que cumpra tal objetivo;
- Deve dispor-se de um sistema de medição que facilite a informação necessária, sendo que esta deve estar disponível antes do 10º dia do mês em que é analisada;
- Os indicadores seleccionados devem apresentar um passo temporal mensal.

No caso da Seca Prolongada, esta deve ser entendida como uma situação natural, persistente e intensa, de redução da precipitação, produzida por circunstâncias incomuns e com reflexo no escoamento das linhas de água. Como tal, os indicadores de Seca Prolongada devem identificar temporal e territorialmente a redução conjuntural do escoamento por causas naturais, independentes da gestão dos recursos por ação humana (CHMS, 2018)

2.1 Metodologia

Segundo a versão aprovada em 2018 e vigente do *PEASAES_DHMS*, os indicadores de Seca Prolongada, também designado de “Índice de Estado de Seca Prolongada”, são determinados através da metodologia esquematizada na Figura 1 (CHMS, 2018).

Indicadores de Seca Prolongada na parte portuguesa das bacias hidrográficas dos rios Minho e Lima

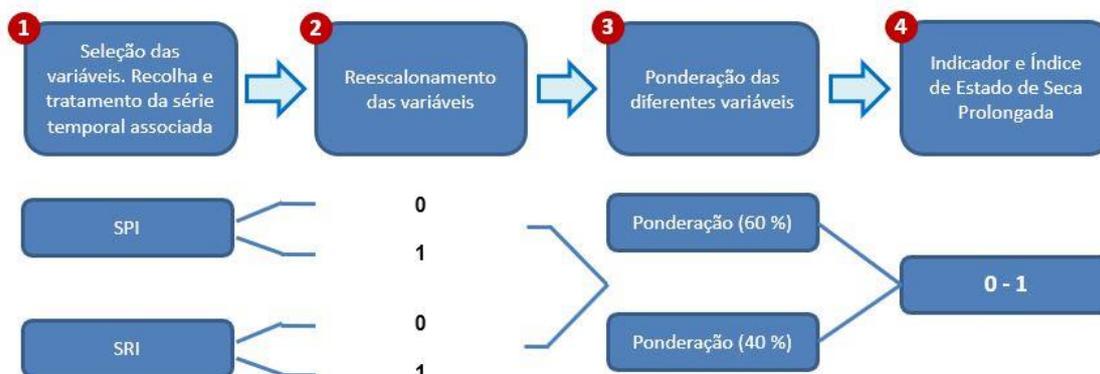


Figura 1: Metodologia de cálculo dos indicadores de Seca Prolongada (adaptado de CHMS, 2018)

O primeiro passo da metodologia de cálculo dos indicadores de Seca Prolongada passa pela seleção e tratamento das variáveis mais representativas, que, combinadas ou de forma independente, forneçam informação quantitativa indireta sobre o escoamento em condições naturais. Assim, de acordo com o referido no *PEASAES_DHMS*, na definição dos indicadores de Seca Prolongada são utilizados dois tipos de variáveis: precipitação média mensal ponderada na bacia e escoamento mensal, em regime natural, afluente a uma estação hidrométrica da bacia.

Para cada mês de análise, estas duas variáveis têm como base os registos mensais acumulados dos 12 meses anteriores, sendo cada uma delas transformada e traduzida por um índice standardizado. A variável precipitação é transformada e traduzida pelo índice SPI (*Standardized Precipitation Index*), enquanto que a variável escoamento é transformada e traduzida pelo índice SRI (*Standardized Runoff Index*).

Após a seleção e tratamento destas variáveis, procede-se ao reescalonamento dos valores de SPI e de SRI, isto é, na sua transformação em valores adimensionais de 0 a 1, dando origem ao Índices de Estado SPI (IE_SPI) e ao Índice de Estado SRI (IE_SRI), respetivamente.

Este processo é realizado através da atribuição dos seguintes valores:

- 1: valor máximo da série de referência (1980/1981 – 2011/2012).
- 0,5: mediana da série de referência (1980/1981 – 2011/2012).
- 0,3: valor de SPI/SRI igual a -1,2813 (probabilidade acumulada de ocorrência de 10%). Valor estabelecido como limiar de Seca Prolongada.
- 0: valor mínimo da série de referência (1980/1981 – 2011/2012).

Indicadores de Seca Prolongada na parte portuguesa das bacias hidrográficas dos rios Minho e Lima

O valor de 0,3 é definido como sendo o limiar de Seca Prolongada, correspondendo a um valor de SPI e de SRI igual a -1,2813, valor ao qual, para cada um dos índices, está associado uma probabilidade acumulada de ocorrência de 10 % (Tabelas 1 e 2). De acordo com o *PEASAES_DHMS*, o limiar de Seca Prolongada foi definido através da comparação das séries obtidas para os Índices SPI e SRI com os registos de secas históricas ocorridas na região hidrográfica do Miño-Sil.

De referir ainda que o processo de reescalonamento dos valores de SPI e SRI é realizado para cada mês. Desta forma, como exemplo, o reescalonamento dos valores de outubro será realizado tendo em consideração o valor máximo, mínimo e a mediana dos valores de SPI ou SRI dos meses de outubro entre 1980 e 2012. Ainda no que se refere ao processo de reescalonamento, de acordo com o *PEASAES_DHMS*, o mesmo não é realizado, diretamente, com os valores de SPI e SRI, mas sim com estes expressos em função da probabilidade acumulada de ocorrência (Tabela 1 e Tabela 2, respetivamente).

Tabela 1: Classificação do índice SPI para os períodos secos e períodos húmidos e correspondente probabilidade de ocorrência (adaptado de CHMS, 2018)

| Valor de SPI | Categoria | Probabilidade Acumulada (%) |
|--------------------------|----------------------|-----------------------------|
| $SPI \geq 2,00$ | Extremamente húmido | 97,7 - 100 |
| $1,50 \leq SPI < 2,00$ | Muito húmido | 93,3 - 97,7 |
| $1,00 \leq SPI < 1,50$ | Moderadamente húmido | 84,1 - 93,3 |
| $-1,00 \leq SPI < 1,00$ | Normal | 15,9 - 84,1 |
| $-1,50 \leq SPI < 1,00$ | Moderadamente seco | 6,7 - 15,9 |
| $-2,00 \leq SPI < -1,50$ | Muito seco | 2,3 - 6,7 |
| $SPI < -2,00$ | Seca extrema | 0 - 2,3 |

Tabela 2: Classificação do índice SRI para períodos secos e períodos húmidos e correspondente probabilidade de ocorrência (adaptado de CHMS, 2018).

| Valor de SRI | Categoria | Probabilidade Acumulada (%) |
|--------------------------|----------------------|-----------------------------|
| $SRI \geq 1,65$ | Extremamente húmido | 95 - 100 |
| $1,28 \leq SRI < 1,65$ | Muito húmido | 90 - 95 |
| $0,84 \leq SRI < 1,28$ | Moderadamente húmido | 80 - 90 |
| $-0,84 \leq SRI < 0,84$ | Normal | 20 - 80 |
| $-1,28 \leq SRI < -0,84$ | Moderadamente seco | 10 - 20 |
| $-1,65 \leq SRI < -1,28$ | Muito seco | 5 - 10 |
| $SRI < -1,65$ | Seca extrema | 0 - 5 |

Por fim, após o reescalonamento, os Índices de Estado SPI e SRI são agregados de forma ponderada, com pesos de 60% e 40%, respetivamente, dando origem a um único indicador de Seca Prolongada, designado de “Índice de Estado de Seca Prolongada”. Tal como para a definição do limiar de Seca Prolongada, o peso atribuído

Indicadores de Seca Prolongada na parte portuguesa das bacias hidrográficas dos rios Minho e Lima



aos Índice de Estado SPI e SRI foi definido através da comparação da série do Índice de Estado de Seca Prolongada com o registo de secas históricas ocorridos na parte espanhola da região hidrográfica do Miño-Sil, tendo os pesos sido ajustados de modo a que os valores do Índice abaixo de 0,30 coincidissem com as secas históricas.

3 Bacia Hidrográfica do rio Lima

3.1 Caracterização geográfica da bacia hidrográfica

A parte portuguesa da bacia do rio Lima tem uma área de aproximadamente 1200 km², correspondendo a 48% da área total da bacia. Esta área é constituída por 11 concelhos: Arcos de Valdevez, Melgaço, Monção, Montalegre, Paredes de Coura, Ponte de Lima, Terras do Bouro, Viana do Castelo, Vila Nova de Cerveira e Vila Verde.

No *PEASAES_DHMS* é definida apenas uma unidade de análise de seca prolongada (UTS) na parte espanhola da bacia do rio Lima, pelo que se admitiu neste trabalho que a parte portuguesa da bacia corresponderia também a uma unidade de análise única.

3.2 Seleção e tratamento das variáveis

Tal como referido na descrição da metodologia (2.1), as variáveis usadas no cálculo dos indicadores de seca prolongada são de dois tipos: precipitação média mensal ponderada na bacia e escoamento afluente a uma estação hidrométrica, em regime natural. Como tal, apresenta-se, de seguida, o tratamento e a análise associada a cada uma das duas.

3.2.1 Precipitação

A precipitação média mensal ponderada na parte portuguesa da bacia hidrográfica do rio Lima foi calculada através do método de *Thiessen*. Para tal, efetuou-se o levantamento, no Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH), das estações meteorológicas existentes a considerar, de acordo os seguintes critérios:

- a) terem um nº de falhas nos registos de precipitações diárias inferior a 50 % para o período de 01/10/1979 – 30/09/2017;
- b) não terem sido entretanto desativadas / extintas;
- c) estarem localizadas na bacia do Lima ou nas bacias vizinhas (Minho; Âncora; Neiva; Cávado), em zonas próximas dos limites da bacia do Lima.

De acordo com o critério a), efetuou-se o levantamento dos registos diários de precipitação a partir de 01/10/1979. Na realidade, mau grado o período de análise ser de 01/10/1980 a 30/09/2017, devido ao facto de, conforme referido na metodologia (ponto 2.1), o indicador de Seca Prolongada, para cada mês de análise, se basear nos registos mensais acumulados dos 12 meses anteriores, o levantamento dos registos

Indicadores de Seca Prolongada na parte portuguesa das bacias hidrográficas dos rios Minho e Lima

diários de precipitação, a partir dos quais se calcularam os respetivos valores mensais, foi efetuado a partir de 01/10/1979.

O critério b) teve por finalidade assegurar que o cálculo da precipitação média mensal ponderada na bacia, ao longo do tempo, fosse realizado recorrendo às mesmas estações meteorológicas, mantendo-se assim a homogeneidade da análise.

Por último, de acordo com o critério c), a consideração de estações meteorológicas inseridas nas bacias vizinhas, próximas dos limites da bacia do Lima, justifica-se pelo facto de cada uma delas ter ou poder contribuir para a definição das áreas dos polígonos de influência dessas estações na bacia do Lima.

A aplicação destes três critérios resultou na seleção de 24 estações, cujas características se apresentam na Tabela 3.

Tabela 3: Estações meteorológicas consideradas para o cálculo da precipitação média mensal ponderada na Bacia Hidrográfica do rio Lima.

| Código (SNIRH) | Estação | Bacia Hidrográfica | Coordenadas (°N; °W) | Altitude (m) | % de registos |
|----------------|------------------|--------------------|----------------------|--------------|---------------|
| 02E/03UG | Arga de Baixo | Minho | 41,846; -8,713 | 478 | 62,04 % |
| 02G/11UG | Aveleiras | Lima | 41,832; -8,468 | 200 | 73,43 % |
| 03G/05UG | Boalhosa | Lima | 41,734; -8,477 | 567 | 77,69 % |
| 02H/01IG | Bouçã dos Homens | Lima | 41,997; -8,257 | 1044 | 58,78 % |
| 02H/07UG | Britelo | Lima | 41,738; -8,290 | 134 | 80,50 % |
| 02G/12UG | Cabana Maior 2 | Lima | 41,865; -8,351 | 436 | 71,55 % |
| 02G/05UG | Cabreiro | Lima | 41,929; -8,418 | 221 | 79,47 % |
| 03F/05UG | Calvelo | Lima | 41,679; -8,545 | 179 | 78,72 % |
| 02G/09G | Casal Soeiro | Lima | 41,863; -8,429 | 95 | 94,72 % |
| 02F/02G | Cerdeira | Minho | 41,884; -8,571 | 452 | 62,05 % |
| 03H/05UG | Cibões | Cávado | 41,749; -8,285 | 531 | 83,41 % |
| 02G/03G | Extremo | Minho | 41,963; -8,468 | 419 | 80,17 % |
| 03F/03UG | Geraz do Lima | Lima | 41,707; -8,665 | 30 | 88,62 % |
| 02H/09UG | Lindoso 2 | Lima | 41,867; -8,199 | 447 | 69,27 % |
| 03E/05UG | Montaria | Âncora | 41,791; -8,729 | 283 | 80,60 % |
| 03F/04UG | Moreira do Lima | Lima | 41,787; -8,63 | 44 | 79,73 % |
| 03E/02UG | Nogueira | Lima | 41,739; -8,735 | 51 | 78,10 % |
| 02H/03UG | Peneda | Lima | 41,974; -8,22 | 697 | 82,41 % |
| 03G/02C | Ponte da Barca | Lima | 41,803; -8,42 | 39 | 86,31 % |
| 03F/01F | Ponte de Lima | Lima | 41,768; -8,596 | 18 | 95,84 % |
| 01H/02G | Portelinha | Lima | 42,052; -8,172 | 1018 | 76,24 % |
| 02G/04UG | Sistelo | Lima | 41,97; -8,368 | 509 | 65,94 % |
| 02H/05G | Tibo da Gaveira | Lima | 41,935; -8,239 | 559 | 65,24 % |
| 03E/04UG | Valadares | Âncora | 41,778; -8,772 | 284 | 82,71 % |

Indicadores de Seca Prolongada na parte portuguesa das bacias hidrográficas dos rios Minho e Lima

Na Tabela 3, a coluna “% de registos” refere-se à percentagem de registos de precipitação diária que cada uma das estações possui para o período de 01/10/1979 – 30/09/2017.

Uma vez seleccionadas as estações, procedeu-se à determinação dos polígonos de Thiessen, e da respetiva área de influência na bacia (Figura 2 e Tabela 4).

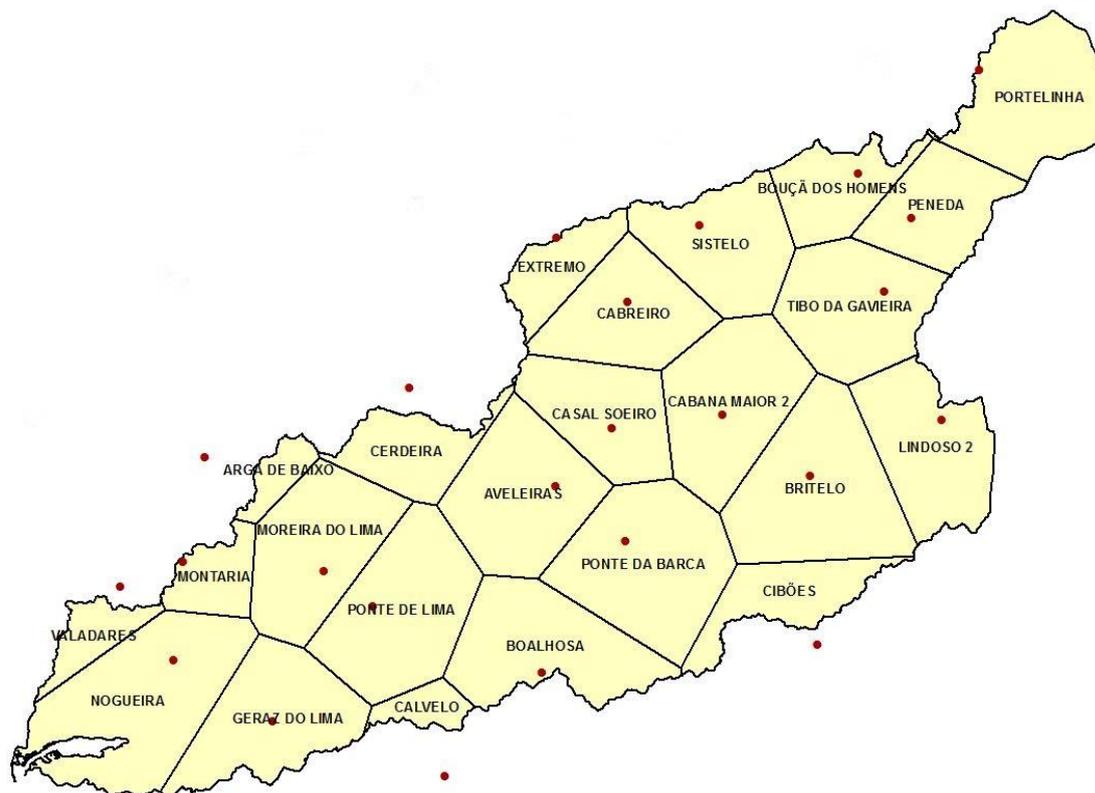


Figura 2: Polígonos de Thiessen considerados no cálculo da precipitação média mensal ponderada na Bacia Hidrográfica do rio Lima

Indicadores de Seca Prolongada na parte portuguesa das bacias hidrográficas dos rios Minho e Lima

Tabela 4: Área de influência dos polígonos de Thiessen associados a cada uma das estações meteorológicas usadas no cálculo da precipitação média mensal ponderada na Bacia Hidrográfica do rio Lima.

| Código (SNIRH) | Estação | Área de Influência (km ²) | % de Influência na bacia |
|----------------|------------------|---------------------------------------|--------------------------|
| 02E/03UG | Arga de Baixo | 10,73 | 0,92% |
| 02G/11UG | Aveleiras | 63,52 | 5,42% |
| 03G/05UG | Boalhosa | 63,30 | 5,40% |
| 02H/01IG | Bouçã dos Homens | 32,52 | 2,78% |
| 02H/07UG | Britelo | 79,12 | 6,75% |
| 02G/12UG | Cabana Maior 2 | 64,58 | 5,51% |
| 02G/05UG | Cabreiro | 50,41 | 4,30% |
| 03F/05UG | Calvelo | 11,21 | 0,96% |
| 02G/09G | Casal Soeiro | 47,37 | 4,04% |
| 02F/02G | Cerdeira | 31,81 | 2,72% |
| 03H/05UG | Cibões | 34,07 | 2,91% |
| 02G/03G | Extremo | 23,86 | 2,04% |
| 03F/03UG | Geraz do Lima | 60,24 | 5,14% |
| 02H/09UG | Lindoso 2 | 56,75 | 4,84% |
| 03E/05UG | Montaria | 20,30 | 1,73% |
| 03F/04UG | Moreira do Lima | 60,31 | 5,15% |
| 03E/02UG | Nogueira | 85,04 | 7,26% |
| 02H/03UG | Peneda | 41,94 | 3,58% |
| 03G/02C | Ponte da Barca | 76,00 | 6,49% |
| 03F/01F | Ponte de Lima | 70,17 | 5,99% |
| 01H/02G | Portelinha | 61,02 | 5,21% |
| 02G/04UG | Sistelo | 52,38 | 4,47% |
| 02H/05G | Tibo da Gavieira | 58,52 | 5,00% |
| 03E/04UG | Valadares | 16,18 | 1,38% |

Pela Tabela 3, verifica-se que, como antes referido, mau grado as estações selecionadas possuírem mais de 50 % de dados, as mesmas apresentam falhas nos registos de precipitação.

Assim, de forma a completar os registos diários de precipitação nas estações meteorológicas (P_j), utilizou-se o método de interpolação *Inverse Distance Weighting* (IDW), sendo o mesmo expresso pela equação (1):

$$P_j = \frac{\sum_{i=1}^N P_i * \left(\frac{1}{D_i^m}\right)}{\sum_{i=1}^N \left(\frac{1}{D_i^m}\right)} \quad (\text{eq. 1})$$

onde, N é o número de estações meteorológicas usadas no preenchimento de falha; P_i é a precipitação na estação meteorológica i; D_i é a distância da estação i à estação meteorológica com falha; m é o expoente de ponderação, tendo-se adotado o valor de 2.

Indicadores de Seca Prolongada na parte portuguesa das bacias hidrográficas dos rios Minho e Lima

Para a utilização deste método, tiveram-se em consideração duas fontes de dados:

- i) registos de precipitação diário nas estações do SNIRH;
- ii) registos de precipitação diário do Dataset PT02.

Esta última é uma base de dados do Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA), que contem informação de precipitação diária em Portugal Continental, sendo a mesma apresentada numa malha regular com 0,2° de resolução horizontal, para o período de 1950 a 2003, tendo por base a utilização do método de *Kriging* (Belo-Pereira, Dutra, & Viterbo, 2011).

Na aplicação do referido método, foram usados os seguintes critérios para a realização do preenchimento aquando da existência de falha numa determinada estação:

- a) Ter em conta, em primeiro lugar, as estações meteorológicas do SNIRH mais próximas;
- b) Caso essas estações meteorológicas do SNIRH mais próximas apresentem igualmente falhas de registo, preencher a falha recorrendo ao Dataset PT 02;
- c) Considerar as estações / centro da malha localizadas a uma distância máxima de 15 km.

Após o preenchimento de falhas diárias através de método IDW verificou-se que, ainda assim, não foi possível determinar muitos dos valores da precipitação mensal em falha para os meses no período de 01/10/2009 – 30/11/2014. Tal deve-se à quase inexistência de dados de precipitação diária nas estações da rede SNIRH da bacia hidrográfica do rio Lima, bem como nas estações consideradas localizadas nas bacias hidrográficas vizinhas (Minho, Neiva e Cávado). De referir igualmente que, no período indicado, os poucos dados existentes apresentam anomalias e/ou erros sistemáticos (p.e., valores de precipitação nulos em algumas estações, enquanto que nas estações vizinhas, para o mesmo dia, os registos apontam para valores elevados de precipitação). Entretanto, o preenchimento nesse período recorrendo ao Dataset PT02 não foi, naturalmente, possível, pois este apenas apresenta dados até 2003.

Sendo assim, para o período de 01/10/2009 a 30/11/2014, estimou-se diretamente os valores da precipitação média mensal na bacia. Para tal, efetuou-se uma correlação, na forma de regressão linear, entre:

- i) A precipitação média mensal na parte portuguesa da bacia do rio Lima e a precipitação média mensal nas UTS 02 Miño-Bajo.

Indicadores de Seca Prolongada na parte portuguesa das bacias hidrográficas dos rios Minho e Lima

- ii) A precipitação média mensal na parte portuguesa da bacia do rio Lima e a precipitação média mensal nas UTS 06 Limia.

A escolha das referidas UTS 02 Miño-Bajo e UTS 06 Limia deveu-se ao facto destas serem as unidades de exploração espanholas mais próximas e adjacentes à parte portuguesa da bacia do rio Minho e Lima, respetivamente.

Esta comparação foi efetuada para o período de 01/10-1979 – 30/09/2017, excetuando o período em falta (10/2009 – 11/2014). Através das respetivas regressões lineares estabelecidas, verificou-se que os valores de precipitação média mensal na parte portuguesa da bacia do rio Lima possuem uma maior concordância com os valores precipitação média mensal na UTS 02 Miño-Bajo, uma vez que o coeficiente de correlação resultante (R^2 igual a 0,94) foi superior ao obtido na correlação com os valores da precipitação média mensal na UTS 06 Limia (R^2 igual 0,78). Como tal, para o período de 01/10/2009 a 30/11/2014, os valores da precipitação média mensal na parte portuguesa do rio Lima foram estimados com recurso aos valores médios mensais da UTS 02 Miño-Bajo, através da regressão linear presente na Figura 3.

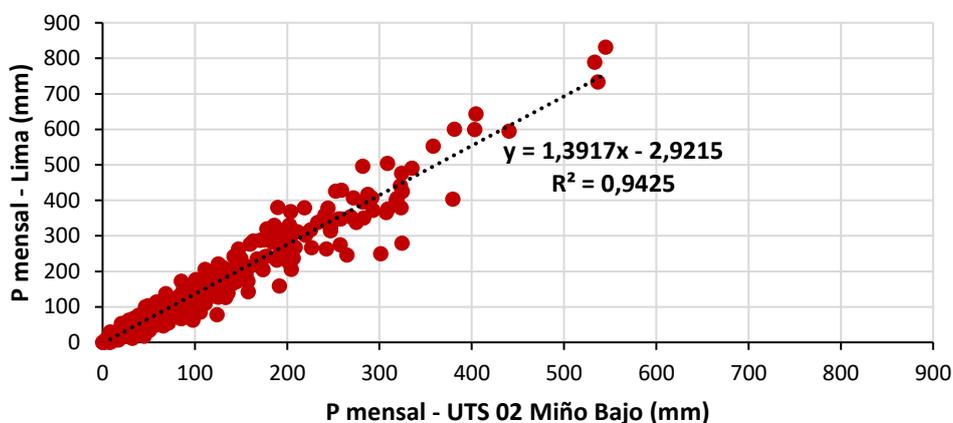


Figura 3: Correlação de valores mensais entre a precipitação mensal registada na UTS 02 Miño-Bajo e a precipitação na parte portuguesa da bacia do rio Lima.

Preenchidas as falhas existentes, obteve-se a distribuição de precipitação média mensal ponderada na parte portuguesa da bacia do rio Lima, para o período de 01/10/1979 – 30/09/2017, estando a mesma representada na Figura 4.

Indicadores de Seca Prolongada na parte portuguesa das bacias hidrográficas dos rios Minho e Lima

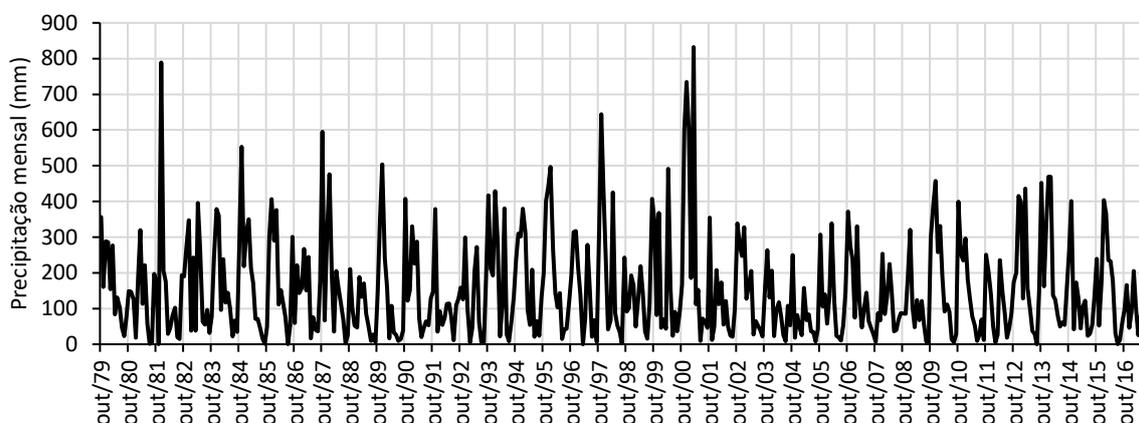


Figura 4: Evolução temporal da precipitação mensal na Bacia Hidrográfica do rio Lima entre 10/1979 - 09/2017.

3.2.1.1 Standardized Precipitation Index

Conforme descrito na metodologia (ponto 2.1), na formulação do indicador de Seca Prolongada, a variável precipitação é transformada e traduzida pelo índice estandardizado SPI, mais concretamente no SPI₁₂, uma vez que em cada mês foram considerados os registos mensais acumulados dos 12 meses anteriores. Esta transformação foi realizada de acordo com o método de cálculo desenvolvido por *McKee et al.* (1993), estando a descrição detalhada do método igualmente presente no *PEASAES_DHMS*.

Assim, na Figura 5 encontra-se patente a evolução do SPI₁₂ para o período de 01/10/1980 – 30/09/2017.

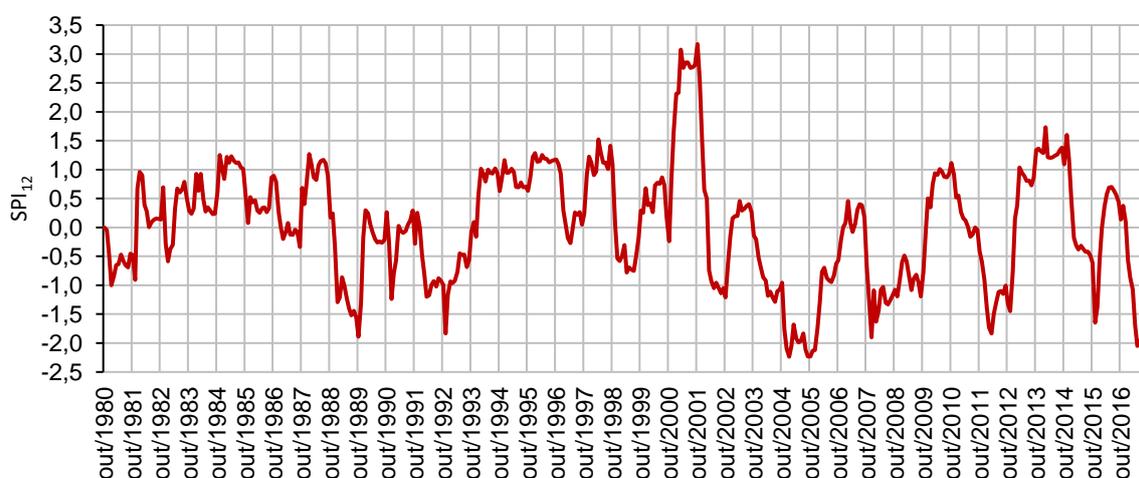


Figura 5: Evolução temporal do SPI₁₂ na Bacia Hidrográfica do rio Lima entre 10/1980 - 09/2017.

Indicadores de Seca Prolongada na parte portuguesa das bacias hidrográficas dos rios Minho e Lima

3.2.2 Escoamento

Uma das variáveis a usar na definição do indicador de Seca Prolongada é o escoamento mensal, em regime natural, afluente a uma estação hidrométrica da bacia. Assim, efetuou-se o levantamento, no SNIRH, das estações hidrométricas e verificou-se que na Bacia Hidrográfica do rio Lima existem 8 estações hidrométricas (EH) ativas (Figura 6), sendo que apenas duas delas se encontram em troços de rios não regularizados, em afluentes ao rio Lima: a EH da Ameijoeira (02I/01H), situada no rio Castro Laboreiro e a EH de Pontilhão de Celeiros (02G/01H), situada no rio Vez.



Figura 6: Estações hidrométricas ativas na Bacia Hidrográfica do rio Lima

Todavia, as estações de Ameijoeira (02I/01H) e de Pontilhão de Celeiros (02G/01H) não possuem registos hidrológicos suficientes para serem usadas como representativas da variável escoamento na definição do indicador de Seca Prolongada da Bacia Hidrográfica do rio Lima. Face a esta situação, de forma a obter os dados necessários de escoamento, em regime natural, a uma estação hidrométrica, realizou-se a modelação hidrológica de uma das duas respetivas sub-bacias passíveis de escolha. Assim, selecionou-se a estação hidrométrica de Pontilhão de Celeiros como a representativa do escoamento em regime natural na bacia do rio Lima e efetuou-se a modelação hidrológica da sub-bacia correspondente, tendo por base os registos de precipitação da mesma.

Indicadores de Seca Prolongada na parte portuguesa das bacias hidrográficas dos rios Minho e Lima

A escolha da EH Pontilhão de Celeiros, em detrimento da EH Ameijoeira, deveu-se ao facto da primeira possuir uma maior quantidade de registo de dados de caudal diário (registos completos para o período de 01/10/1979 a 30/09/1990), tornando assim possível a calibração do modelo hidrológico. Neste sentido, uma vez que a EH Pontilhão de Celeiros possui registos de caudal diário entre 01/10/1979 a 30/09/1990, simularam-se os valores de caudal diário, através da modelação hidrológica, para o período de 01/10/1990 – 30/09/2017.

3.2.2.1 Modelação Hidrológica

O processo de modelação hidrológica foi efetuado para a sub-bacia de Pontilhão de Celeiros. Esta situa-se no rio Vez, afluente da margem direita do rio Lima, possuindo uma área de, aproximadamente, 170 km² (Figura 7).

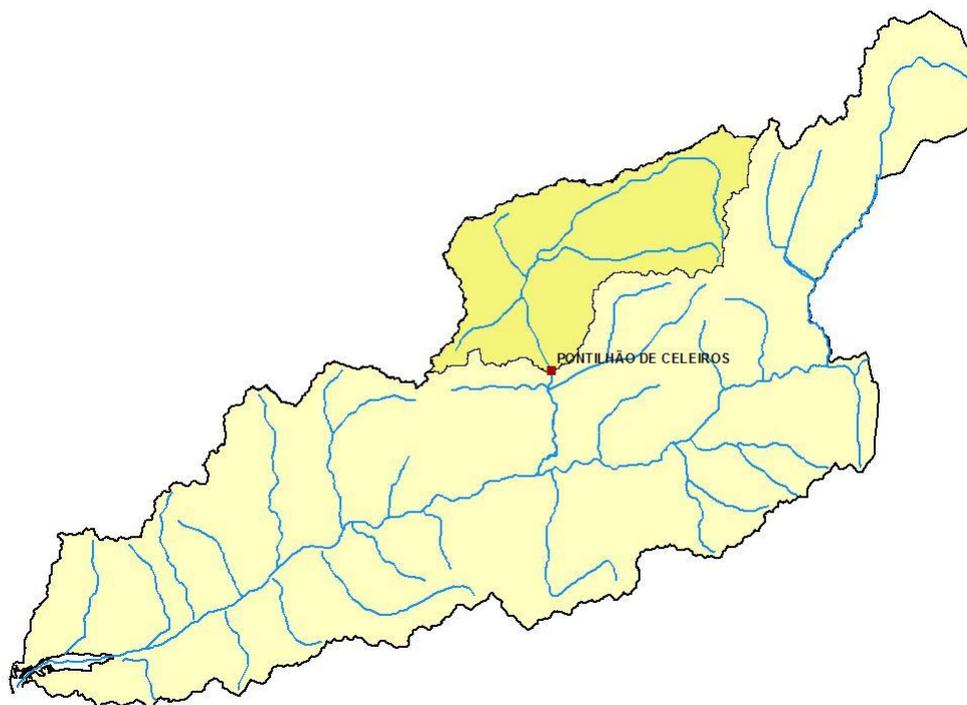


Figura 7: Sub-bacia na secção de Pontilhão de Celeiros, no rio Vez

A modelação hidrológica da sub-bacia foi efetuada com recurso ao *software* HEC-HMS, em modo de simulação contínua, para um passo temporal diário. Este *software*, desenvolvido pelo *Hydrologic Engineering Center (HEC)* do *US Army Corps of Engineers*, permite simular os processos hidrológicos de precipitação-escoamento em bacias hidrográficas.

Indicadores de Seca Prolongada na parte portuguesa das bacias hidrográficas dos rios Minho e Lima

O processo de modelação hidrológica da sub-bacia de Pontilhão de Celeiros foi dividido em 3 fases, as quais se detalham de seguida:

- a) Construção do modelo hidrológico;
- b) Calibração e verificação hidrológica;
- c) Simulação Hidrológica.

a) Construção do modelo hidrológico

O modelo hidrológico representativo da sub-bacia foi construído com auxílio do software *ArcMap* e das suas aplicações *ArcHydro Tools* e *HEC-GeoHMS*, no qual se definiram as seguintes componentes: Modelo da Bacia; Modelo Meteorológico; Métodos de Simulação.

Modelo da Bacia

O modelo da bacia corresponde à estrutura geral utilizada para descrever as propriedades físicas da bacia e a topologia da rede hidrográfica.

No caso do modelo da sub-bacia de Pontilhão de Celeiros, o mesmo foi construído tendo por base o Modelo Digital do Terreno (MDT), em formato raster com uma resolução de 25 x 25 m² e os dados, em formato vetorial, relativo ao traçado da rede hidrográfica e à localização da estação hidrométrica de Pontilhão de Celeiros.

Na Figura 8 apresenta-se o esquema conceptual do modelo da sub-bacia definido para a secção de Pontilhão de Celeiros, com a representação das sub-bacias definidas (SB) e dos troços fluviais (TF), tendo estes dois componentes sido gerados automaticamente através do MDT e do traçado da rede hidrográfica.

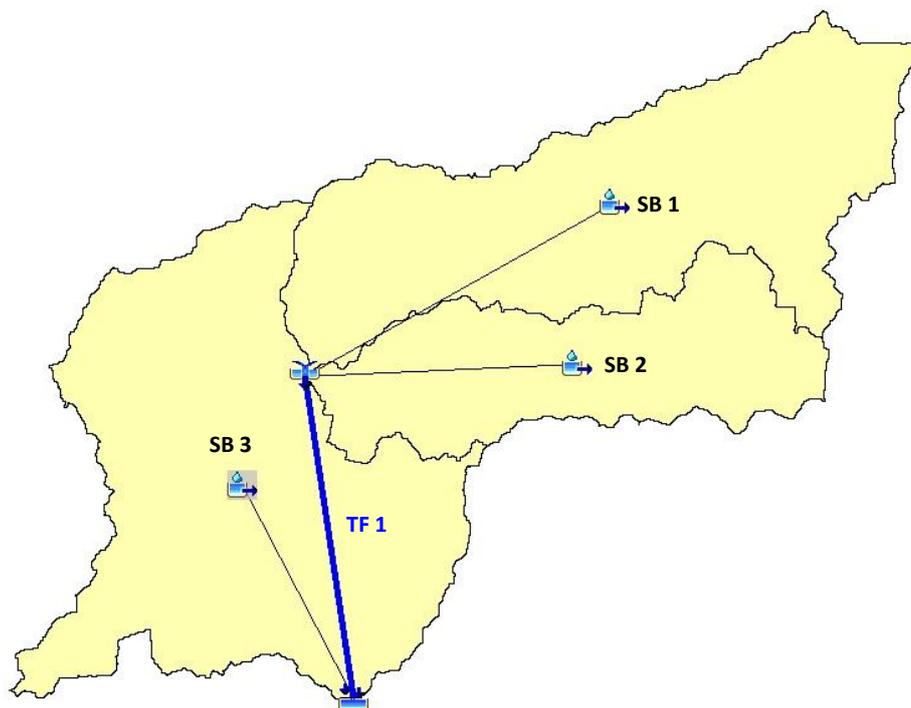


Figura 8: Representação do modelo hidrológico da sub-bacia de Pontilhão de Celeiros.

Modelo Meteorológico

Na construção do modelo meteorológico foi considerado a distribuição temporal e espacial de duas variáveis meteorológicas: precipitação diária e evapotranspiração potencial (ETPm).

- Precipitação

A precipitação diária em cada uma das 3 sub-bacias que constitui o modelo foi calculada recorrendo ao método de Thiessen, tendo por base as estações meteorológicas com influência em cada uma delas.

Tal como já anteriormente referido, entre 10/2009 – 11/2014 existe uma enorme falha nos registos de dados de precipitação diária nas estações meteorológicas, sendo que para o período referido, no cálculo da precipitação média mensal na bacia do Lima foram apenas estimados os valores médios mensais na bacia, conforme explicitado em 3.1.1.

Contudo, de forma a realizar a modelação hidrológica da sub-bacia de Pontilhão de Celeiros, foi necessário estimar, para o referido período de 01/10/2009 – 30/11/2014, os valores de precipitação diária em cada uma das sub-bacias que constituem o

Indicadores de Seca Prolongada na parte portuguesa das bacias hidrográficas dos rios Minho e Lima

modelo hidrológico. Para tal, começou-se por calcular a precipitação média mensal na sub-bacia de Pontilhão de Celeiros para o período de 01/10/1979 – 30/09/2017, excetuando o período em falta. De seguida, efetuou-se a correlação, através da elaboração de regressões lineares, entre a precipitação média mensal na sub-bacia e a precipitação mensal registada em estações meteorológicas próximas, situadas nas “*unidades territoriales*” espanholas limítrofes à parte portuguesa das bacias dos rios Minho e Lima, respetivamente a UTS 02 Miño-Bajo e a UTS 06 Limia.

A estação meteorológica espanhola a que correspondeu a melhor correlação (R^2 de 0,917) foi a estação N035 (Rio Deva en As Regadas), situada na UTS 02 Miño-Bajo. Todavia, uma vez que esta só possui dados de precipitação diária para parte do período em falta (01/03/2011 – 30/11/2014), escolheu-se a estação espanhola N019 (Rio Caldo en Bubaces), situada na UTS 06 Limia, à qual correspondeu a segunda melhor correlação (R^2 de 0,910), para suprimir a falha de dados no restante período em falta (01/10/2009 – 28/02/2011).

Selecionadas as estações espanholas a usar, estimaram-se os valores da precipitação média mensal na sub-bacia de Pontilhão de Celeiros, entre 01/10/2009 – 30/11/2014, através das regressões lineares correspondentes. De seguida, considerou-se que a precipitação mensal em cada das sub-bacias que compõem o modelo hidrológico foi igual à precipitação média mensal na sub-bacia de Pontilhão de Celeiros, tendo-se assim procedido, em cada sub-bacia do modelo, à desagregação dos valores mensais em valores de precipitação diária. Para tal, considerou-se que, para cada mês do período de 01/10/2009 -30/11/2014, o padrão de distribuição da precipitação diária em cada sub-bacia do modelo hidrológico foi similar ao padrão de distribuição de precipitação diária da estação espanhola usada para suprimir as falhas de dados.

- Evapotranspiração Potencial

No que se refere à Evapotranspiração Potencial (ETPm), a mesma foi calculada através do método de *Thornthwaite*. Para tal, teve-se em consideração os valores médios mensais de temperatura (entre 01/10/1980 – 30/09/2017) registados na estação meteorológica Ponte da Barca (03G/02G), sendo esta a única estação com registos de temperatura mensal na bacia do rio Lima. Como tal, na Tabela 5 são apresentados os valores de Evapotranspiração Potencial considerados.

Indicadores de Seca Prolongada na parte portuguesa das bacias hidrográficas dos rios Minho e Lima

Tabela 5: Evapotranspiração Potencial (mm) considerada na modelação hidrológica da sub-bacia de Pontilhão de Celeiros.

| Mês | Out | Nov | Dez | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|-------|
| ETPm (mm) | 56,86 | 32,53 | 22,58 | 19,15 | 23,06 | 40,65 | 54,73 | 79,42 | 106,00 | 124,83 | 116,52 | 85,71 |

Métodos de Simulação

Os métodos usados para simular o caudal afluente à estação de Pontilhão de Celeiros foram os seguintes (U.S. Army Corps of Engineers, 2018):

- a) *Simple Canopy*;
- b) *Simple Surface*;
- c) *Soil Moisture Accounting (SMA)*;
- d) *SCS Unit Hydrograph*;
- e) *Recession*
- f) *Musking-Cunge*.

O método *Simple Canopy* foi utilizado de forma a quantificar a precipitação que fica retida na vegetação.

Com a utilização do método *Simple Surface* foi possível simular a quantidade de água que fica acumulada nas depressões do solo.

Por sua vez, o método SMA, método de simulação contínua, foi usado de forma a calcular o volume total de escoamento gerado através da precipitação, visto que este permite simular a dinâmica do movimento da água pelas 3 camadas do solo: superficial; sub-superficial (zona não saturada); subterrânea.

De forma a quantificar o escoamento direto, ou seja, o escoamento sub-superficial e o escoamento à superfície do terreno, escolheu-se o método *SCS Unit Hydrograph*.

O método *Recession* foi escolhido de forma a simular o escoamento de base, ou seja, a drenagem subterrânea lenta existente das massas de água subterrâneas para as linhas de água.

Por fim, adotou-se o uso método *Musking-Cunge* de forma a caracterizar o escoamento superficial ao longo das linhas de água.

b) Calibração e verificação do modelo hidrológico

Uma vez construído o modelo hidrológico procedeu-se à calibração e verificação do mesmo. Este procedimento consistiu um processo iterativo, que teve como objetivo a

Indicadores de Seca Prolongada na parte portuguesa das bacias hidrográficas dos rios Minho e Lima

otimização da relação entre os valores de caudal simulado e os valores homólogos de cauda registado na EH Pontilhão de Celeiros.

De forma a avaliar o desempenho do modelo, isto é, de forma a verificar se existe um ajuste entre os valores simulados e registados, tanto na fase de calibração como na fase de verificação, recorreu-se ao uso dos seguintes indicadores estatísticos: *percentagem de viés* (PBIAS) e o indicador de eficiência de *Nash-Sutcliffe* (NS) (Moriassi *et al.*, 2007).

O PBIAS, calculado com recurso à equação 2, é um indicador que avalia a tendência média dos valores simulados em relação aos valores observados, ou seja, indica se os valores simulados tendem a ser maiores ou menores que os valores observados

$$PBIAS = \frac{\overline{Q_{obs}} - \overline{Q_{mod}}}{\overline{Q_{obs}}} * 100 \quad (\text{eq. 2})$$

O NS é um indicador estatístico normalizado que determina a magnitude relativa da variância residual (“ruído”) em comparação com a variação dos dados medidos, sendo o mesmo calculado através da equação 3. Este varia entre $-\infty$ e 1, sendo que quanto mais próximo o valor for de 1, melhor correspondência existe entre os valores simulados e observados.

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{obs,i} - Q_{mod,i})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{obs,i} - \overline{Q_{obs}})^2} \quad (\text{eq. 3})$$

De acordo com o estabelecido por Moriassi *et al.* (2007), as simulações hidrológicas são classificadas como: i) satisfatórias, quando $|PBIAS| < 25\%$ e $NS > 0,5$; ii) boas, quando $|PBIAS| < 15\%$ e $NS > 0,65$.

Calibração do modelo hidrológico

Na calibração do modelo hidrológico efetuou-se um ajuste geral dos parâmetros de simulação referentes ao método SMA, uma vez que para os parâmetros de simulação associados aos outros métodos foram considerados os valores definidos automaticamente pelo modelo computacional, tendo por base as características da bacia, aquando da construção do modelo hidrológico.

O período de calibração considerado foi de 10 anos (10/1980 – 09/1990), período em que, tal como já referido, existem registos de caudal médio diário na estação de Pontilhão de Celeiros, apresentando-se na Figura 9 a comparação entre os valores observados e os simulados.

Indicadores de Seca Prolongada na parte portuguesa das bacias hidrográficas dos rios Minho e Lima

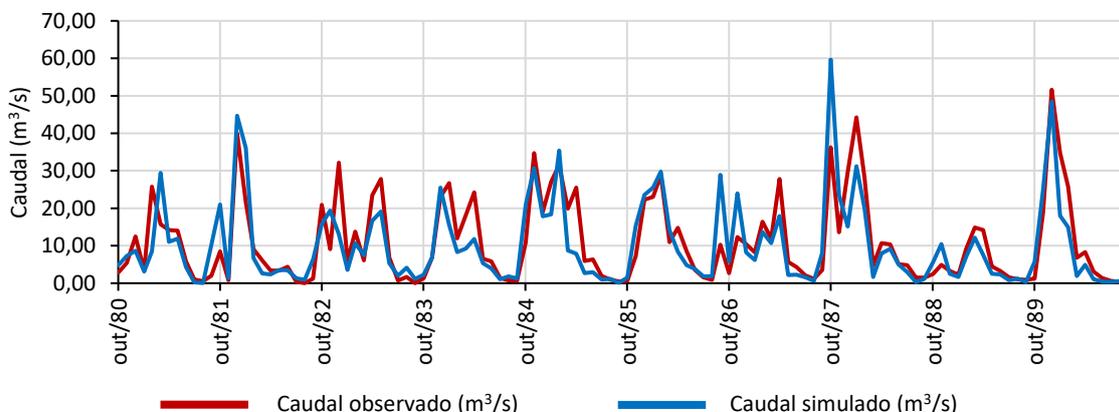


Figura 9: Comparação entre caudal observado e caudal simulado para o período de calibração (10/1980 - 09/1990)

Como pode ser visualmente constatado pela Figura 9, a calibração pode ser considerada bastante boa, o que é confirmado pelos correspondentes parâmetros estatísticos, uma vez que o NS foi de 0,65 e o valor do PBIAS foi de 7,99 %.

Verificação do modelo hidrológico

Calibrado o modelo hidrológico, procedeu-se à verificação do comportamento do mesmo, avaliando se os parâmetros definidos no processo de calibração podiam ser aplicados de forma geral. Para tal foi considerado o período de 10/2003 – 11/2006, sendo os correspondentes resultados obtidos numericamente para esse período comparados com os valores dos caudais observados (obtidos através do nível hidrométrico instantâneo e da curva de Vazão associada) apresentados na Figura 10.

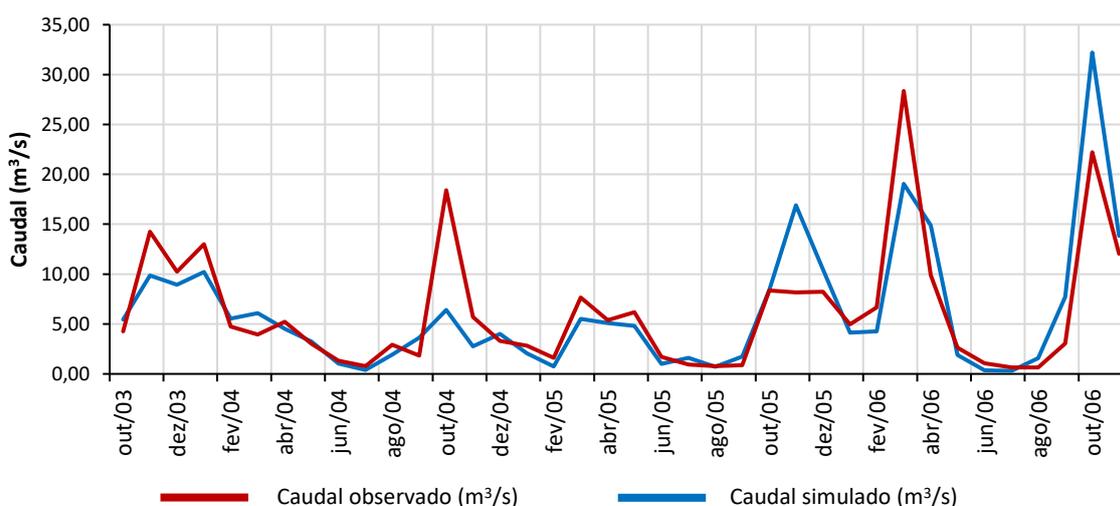


Figura 10: Comparação entre o caudal observado e simulado para o período de validação (10/2003 - 11/2006)

Indicadores de Seca Prolongada na parte portuguesa das bacias hidrográficas dos rios Minho e Lima

Para o período de validação, de acordo com o PBIAS a simulação foi considerada boa (PBIAS = 1,90 %), tendo sido considerada satisfatória de acordo com o NS (NS = 0,64). Na realidade, o valor do NS foi muito perto do limite a partir do qual se considera a simulação hidrológica como boa (0,65), atestando assim a validade da calibração do modelo.

Neste sentido, os resultados obtidos na verificação e na calibração modelo, e nomeadamente os indicadores estatísticos obtidos, permitem concluir que o modelo se encontrava bem calibrado, pelo que se pôde proceder à simulação hidrológica pretendida, considerando os parâmetros de calibração antes definidos.

c) Simulação Hidrológica

Calibrado e validado o modelo hidrológico, efetuou-se a simulação em modo contínuo, com um passo temporal diário.

Tal como referido anteriormente, uma vez que a estação de Pontilhão de Celeiros apenas apresenta registos de valores de caudal médio diário entre 01/10/1979 – 30/09/1990, a serie de caudais diários foi completada entre 01/10/1990 – 30/09/2017 por modelação hidrológica, estando presente na Figura 11 a evolução temporal do caudal simulado, em hm³.

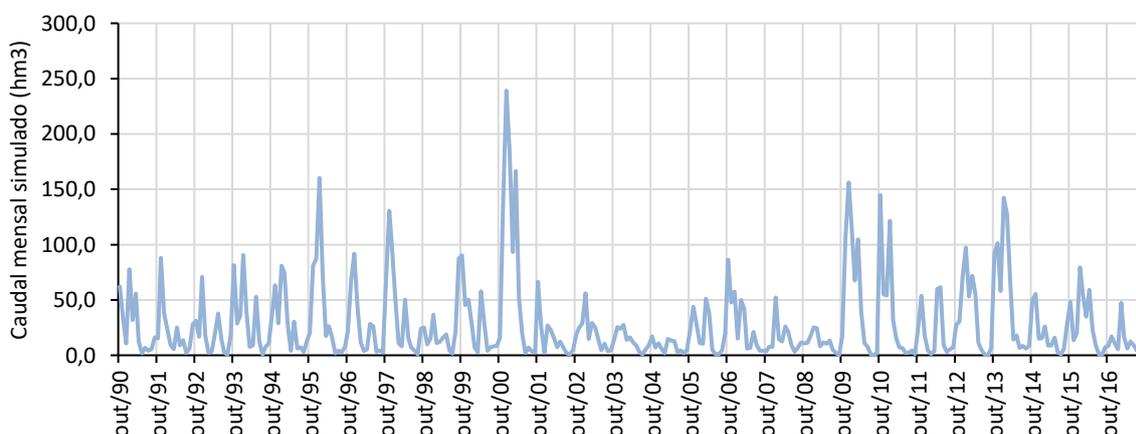


Figura 11: Evolução temporal do caudal mensal simulado afluente à EH Pontilhão de Celeiros, entre 01/10/1990 - 30/09/2017

3.2.2.2 *Escoamento afluente, em regime natural, à EH Pontilhão de Celeiros*

Uma vez simulado o caudal para o período de 01/10/1990 – 30/09/2017, conseguiu-se ter a totalidade dos valores de escoamento afluente, em regime natural à EH Pontilhão de Celeiros, necessários para o cálculo do indicador de Seca Prolongada na parte

Indicadores de Seca Prolongada na parte portuguesa das bacias hidrográficas dos rios Minho e Lima

portuguesa da bacia do rio Lima, estando patente na Figura 12 a evolução do respetivo escoamento (em hm³), entre 01/10/1979 – 30/09/2017.

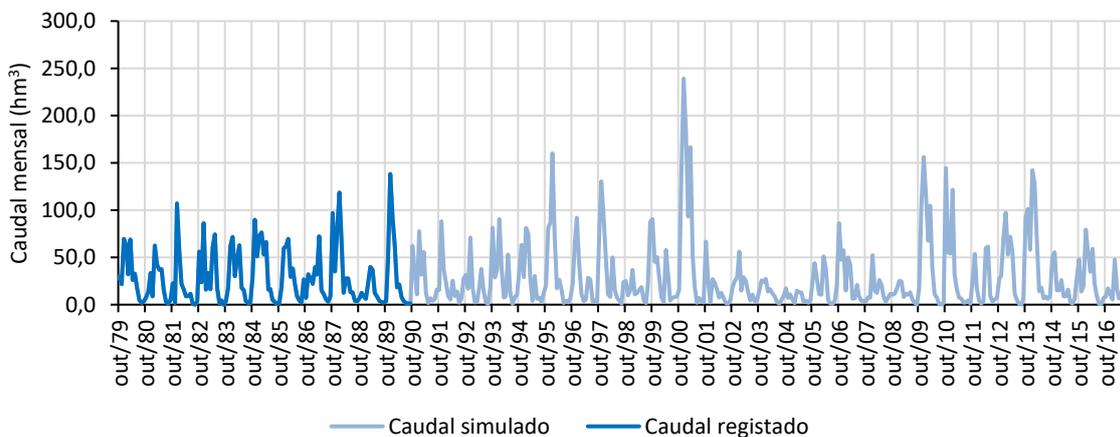


Figura 12: Evolução do caudal mensal registado na estação de Pontilhão de Celeiros, entre 10/1979 - 09/2017.

3.2.2.3 Standardized Runoff Index

Tal como para o cálculo do SPI₁₂, o SRI₁₂ foi determinado de acordo com a metodologia definida por McKee et al. (1993) e detalhada no PEASAES_DHMS. Assim tendo em consideração os valores registados e simulados do escoamento afluente, em regime natural, à EH de Pontilhão de Celeiros entre 01/10/1979 – 30/09/2017 (Figura 12), e para cada mês de análise, os registos mensais acumulados dos 12 meses anteriores, representa-se na Figura 13 a evolução mensal do SRI₁₂ para o período de 01/10/1980 – 30/09/2017.

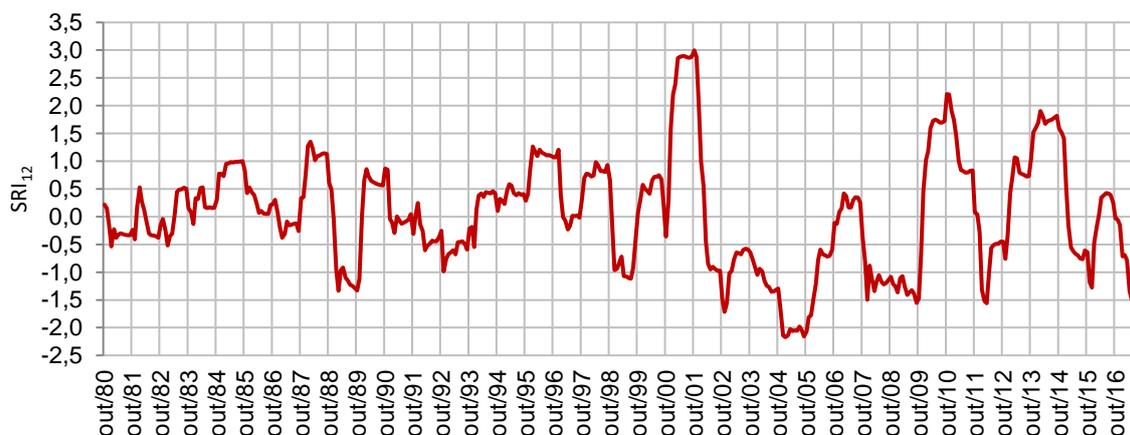


Figura 13: Evolução do SRI₁₂ na parte portuguesa da bacia rio Lima, entre 10/1980 - 09/2017.

3.3 Reescalonamento das variáveis

De acordo com a metodologia usada (ponto 2.1), após a seleção e tratamento das variáveis, efetua-se o reescalonamento dos valores de SPI e SRI (2º passo), ou seja, à transformação dos mesmos em valores adimensionais de 0 a 1, resultando assim nos Índices de Estado respetivos. Desta forma, torna-se assim possível a agregação, de forma ponderada, das duas variáveis, dando origem a um único indicador de Seca Prolongada.

O reescalonamento foi realizado de acordo com os critérios apresentados no ponto 2.1 deste documento, ou seja, realizado para cada um dos meses do ano, através da atribuição dos seguintes valores:

- 1: valor máximo da série de referência (1980/1981 – 2011/2012).
- 0,5: mediana da série de referência (1980/1981 – 2011/2012).
- 0,3: valor de SPI/SRI igual a -1,2813 (probabilidade acumulada de ocorrência de 10%). Valor estabelecido como limiar de Seca Prolongada.
- 0: valor mínimo da série de referência (1980/1981 – 2011/2012).

Tal como referido anteriormente, de realçar que o reescalonamento não foi efetuado usando diretamente os valores de SPI / SRI, mas sim a probabilidade acumulada de ocorrência associada aos respetivos valores.

3.3.1 Índice de Estado SPI

Os valores considerados para o reescalonamento dos valores de SPI para a bacia hidrográfica do rio Lima foram os apresentados na Tabela 6, encontrando-se na Tabela 7 a respetiva probabilidade acumulada de ocorrência associada a cada um desses valores.

Tabela 6: Valores de SPI considerados no seu reescalonamento (bacia do rio Lima)

| IE_SPI | Out | Nov | Dez | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set |
|------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 0,0 | -2,234 | -2,130 | -2,123 | -2,236 | -2,049 | -1,835 | -1,922 | -1,986 | -1,965 | -1,832 | -2,117 | -2,233 |
| 0,3 | -1,281 | -1,281 | -1,281 | -1,281 | -1,281 | -1,281 | -1,281 | -1,281 | -1,281 | -1,281 | -1,281 | -1,281 |
| 0,5 | 0,069 | 0,086 | 0,000 | 0,225 | 0,222 | 0,037 | 0,008 | -0,007 | 0,016 | 0,093 | 0,139 | 0,097 |
| 1,0 | 3,171 | 2,553 | 1,660 | 2,315 | 2,330 | 3,074 | 2,761 | 2,854 | 2,852 | 2,761 | 2,773 | 2,802 |

Indicadores de Seca Prolongada na parte portuguesa das bacias hidrográficas dos rios Minho e Lima

Tabela 7: Probabilidade acumulada de ocorrência associada aos valores de SPI considerados no processo de reescalonamento (bacia do rio Lima)

| IE_SPI | Out | Nov | Dez | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 0,0 | -2,234 | -2,130 | -2,123 | -2,236 | -2,049 | -1,835 | -1,922 | -1,986 | -1,965 | -1,832 | -2,117 | -2,233 |
| 0,3 | -1,281 | -1,281 | -1,281 | -1,281 | -1,281 | -1,281 | -1,281 | -1,281 | -1,281 | -1,281 | -1,281 | -1,281 |
| 0,5 | 0,069 | 0,086 | 0,000 | 0,225 | 0,222 | 0,037 | 0,008 | -0,007 | 0,016 | 0,093 | 0,139 | 0,097 |
| 1,0 | 3,171 | 2,553 | 1,660 | 2,315 | 2,330 | 3,074 | 2,761 | 2,854 | 2,852 | 2,761 | 2,773 | 2,802 |

Desta forma, tendo em conta os valores da Tabela 6 e a respetiva probabilidade de ocorrência dos mesmos (Tabela 7), determinou-se os valores mensais do Índice de Estado SPI, sendo apresentada a correspondente evolução mensal do Índice de Estado SPI (IE_SPI) (Figura 14), bem como os respetivos valores (Tabela 8) para o período de outubro de 1980 a setembro de 2017.

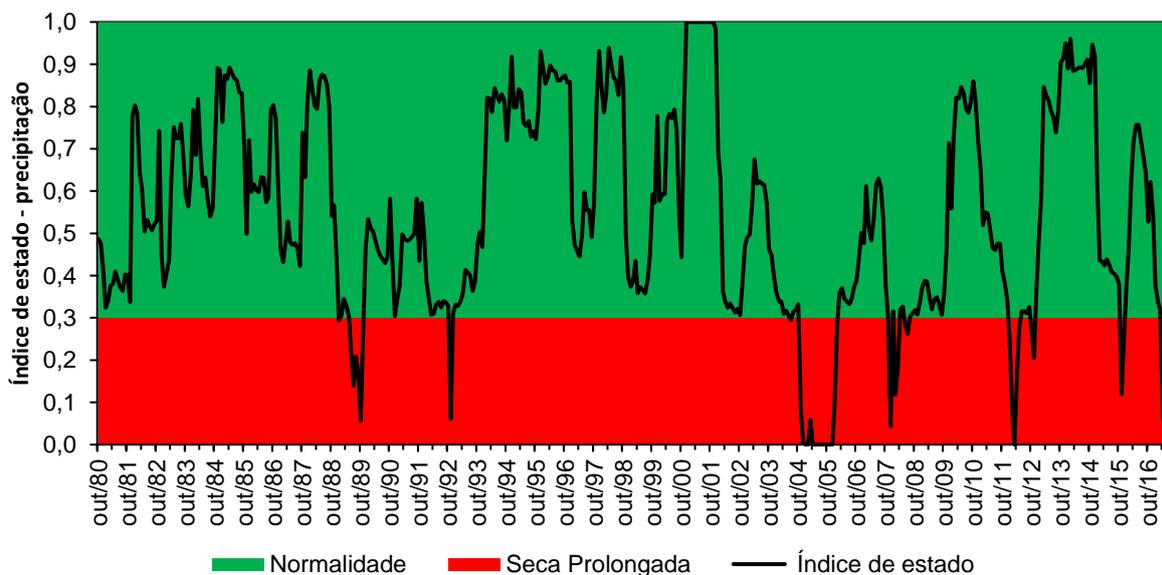


Figura 14: Evolução temporal do Índice de Estado SPI na parte portuguesa da Bacia Hidrográfica do rio Lima

Indicadores de Seca Prolongada na parte portuguesa das bacias hidrográficas dos rios Minho e Lima

Tabela 8: Evolução mensal do índice de Estado SPI na parte portuguesa da bacia Hidrográfica do rio Lima

| Ano Hidrológico | Out | Nov | Dez | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1980/1981 | 0,487 | 0,476 | 0,410 | 0,324 | 0,341 | 0,376 | 0,380 | 0,410 | 0,390 | 0,372 | 0,364 | 0,402 |
| 1981/1982 | 0,401 | 0,338 | 0,776 | 0,803 | 0,784 | 0,642 | 0,606 | 0,504 | 0,531 | 0,518 | 0,507 | 0,521 |
| 1982/1983 | 0,530 | 0,742 | 0,444 | 0,373 | 0,404 | 0,436 | 0,628 | 0,751 | 0,725 | 0,725 | 0,759 | 0,675 |
| 1983/1984 | 0,590 | 0,564 | 0,642 | 0,792 | 0,685 | 0,818 | 0,687 | 0,611 | 0,632 | 0,582 | 0,540 | 0,559 |
| 1984/1985 | 0,715 | 0,891 | 0,886 | 0,763 | 0,874 | 0,865 | 0,893 | 0,878 | 0,867 | 0,861 | 0,833 | 0,832 |
| 1985/1986 | 0,704 | 0,499 | 0,721 | 0,598 | 0,616 | 0,603 | 0,597 | 0,633 | 0,631 | 0,574 | 0,585 | 0,792 |
| 1986/1987 | 0,803 | 0,773 | 0,617 | 0,463 | 0,432 | 0,477 | 0,527 | 0,477 | 0,472 | 0,476 | 0,463 | 0,422 |
| 1987/1988 | 0,738 | 0,633 | 0,811 | 0,885 | 0,842 | 0,801 | 0,795 | 0,862 | 0,875 | 0,872 | 0,852 | 0,800 |
| 1988/1989 | 0,541 | 0,566 | 0,434 | 0,294 | 0,305 | 0,345 | 0,329 | 0,305 | 0,220 | 0,140 | 0,209 | 0,163 |
| 1989/1990 | 0,057 | 0,283 | 0,465 | 0,534 | 0,511 | 0,505 | 0,481 | 0,461 | 0,447 | 0,439 | 0,429 | 0,444 |
| 1990/1991 | 0,581 | 0,441 | 0,304 | 0,347 | 0,376 | 0,498 | 0,487 | 0,482 | 0,485 | 0,492 | 0,497 | 0,582 |
| 1991/1992 | 0,435 | 0,572 | 0,499 | 0,388 | 0,345 | 0,307 | 0,310 | 0,330 | 0,338 | 0,325 | 0,339 | 0,336 |
| 1992/1993 | 0,328 | 0,061 | 0,311 | 0,331 | 0,328 | 0,338 | 0,361 | 0,414 | 0,407 | 0,401 | 0,364 | 0,385 |
| 1993/1994 | 0,473 | 0,503 | 0,467 | 0,655 | 0,820 | 0,819 | 0,787 | 0,843 | 0,827 | 0,812 | 0,829 | 0,815 |
| 1994/1995 | 0,719 | 0,793 | 0,918 | 0,797 | 0,799 | 0,841 | 0,833 | 0,761 | 0,754 | 0,766 | 0,729 | 0,742 |
| 1995/1996 | 0,722 | 0,792 | 0,931 | 0,888 | 0,854 | 0,871 | 0,897 | 0,885 | 0,883 | 0,862 | 0,861 | 0,869 |
| 1996/1997 | 0,874 | 0,857 | 0,858 | 0,531 | 0,473 | 0,457 | 0,445 | 0,498 | 0,597 | 0,555 | 0,555 | 0,491 |
| 1997/1998 | 0,569 | 0,809 | 0,931 | 0,849 | 0,786 | 0,829 | 0,938 | 0,903 | 0,869 | 0,861 | 0,827 | 0,917 |
| 1998/1999 | 0,854 | 0,494 | 0,397 | 0,374 | 0,385 | 0,435 | 0,358 | 0,373 | 0,365 | 0,358 | 0,391 | 0,450 |
| 1999/2000 | 0,592 | 0,573 | 0,778 | 0,577 | 0,592 | 0,592 | 0,767 | 0,782 | 0,773 | 0,793 | 0,741 | 0,536 |
| 2000/2001 | 0,443 | 0,788 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 |
| 2001/2002 | 1,000 | 1,000 | 0,985 | 0,692 | 0,628 | 0,362 | 0,338 | 0,324 | 0,334 | 0,323 | 0,312 | 0,321 |
| 2002/2003 | 0,306 | 0,379 | 0,470 | 0,490 | 0,496 | 0,566 | 0,675 | 0,618 | 0,623 | 0,618 | 0,614 | 0,572 |
| 2003/2004 | 0,462 | 0,447 | 0,400 | 0,359 | 0,339 | 0,339 | 0,309 | 0,317 | 0,306 | 0,295 | 0,315 | 0,319 |
| 2004/2005 | 0,332 | 0,081 | 0,005 | 0,000 | 0,000 | 0,059 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 2005/2006 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,095 | 0,281 | 0,358 | 0,371 | 0,346 | 0,339 | 0,333 | 0,345 | 0,375 |
| 2006/2007 | 0,387 | 0,444 | 0,501 | 0,476 | 0,611 | 0,517 | 0,483 | 0,527 | 0,615 | 0,630 | 0,608 | 0,534 |
| 2007/2008 | 0,373 | 0,304 | 0,043 | 0,315 | 0,118 | 0,186 | 0,320 | 0,326 | 0,284 | 0,263 | 0,302 | 0,310 |
| 2008/2009 | 0,319 | 0,308 | 0,337 | 0,372 | 0,388 | 0,386 | 0,347 | 0,320 | 0,344 | 0,349 | 0,331 | 0,307 |
| 2009/2010 | 0,355 | 0,463 | 0,713 | 0,559 | 0,729 | 0,821 | 0,819 | 0,846 | 0,832 | 0,797 | 0,785 | 0,810 |
| 2010/2011 | 0,860 | 0,813 | 0,718 | 0,651 | 0,519 | 0,550 | 0,546 | 0,504 | 0,466 | 0,460 | 0,476 | 0,476 |
| 2011/2012 | 0,412 | 0,382 | 0,341 | 0,248 | 0,082 | 0,000 | 0,165 | 0,279 | 0,316 | 0,316 | 0,311 | 0,326 |
| 2012/2013 | 0,275 | 0,205 | 0,360 | 0,488 | 0,581 | 0,847 | 0,828 | 0,815 | 0,788 | 0,776 | 0,739 | 0,788 |
| 2013/2014 | 0,905 | 0,912 | 0,950 | 0,889 | 0,961 | 0,885 | 0,887 | 0,890 | 0,893 | 0,891 | 0,900 | 0,912 |
| 2014/2015 | 0,856 | 0,946 | 0,918 | 0,621 | 0,435 | 0,434 | 0,424 | 0,439 | 0,425 | 0,408 | 0,405 | 0,397 |
| 2015/2016 | 0,379 | 0,119 | 0,245 | 0,377 | 0,463 | 0,628 | 0,717 | 0,756 | 0,757 | 0,720 | 0,680 | 0,643 |
| 2016/2017 | 0,528 | 0,621 | 0,541 | 0,376 | 0,338 | 0,320 | 0,078 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,049 | 0,020 |

3.3.2 Índice de Estado SRI

Os valores considerados para o reescalonamento dos valores de SRI para a bacia hidrográfica do rio Lima são os apresentados na Tabela 9, estando representada na Tabela 10 a respetiva probabilidade acumulada de ocorrência dos mesmos.

Indicadores de Seca Prolongada na parte portuguesa das bacias hidrográficas dos rios Minho e Lima

Tabela 9: Valores de SRI considerados no seu reescalonamento (bacia do rio Lima).

| IE_SRI | Out | Nov | Dez | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 0,0 | -2,071 | -1,808 | -2,141 | -2,172 | -2,139 | -2,028 | -2,059 | -2,047 | -2,053 | -1,982 | -2,044 | -2,159 |
| 0,3 | -1,281 | -1,281 | -1,281 | -1,281 | -1,281 | -1,281 | -1,281 | -1,281 | -1,281 | -1,281 | -1,281 | -1,281 |
| 0,5 | 0,075 | 0,061 | 0,042 | 0,139 | 0,128 | -0,031 | -0,075 | -0,141 | -0,044 | -0,035 | -0,015 | 0,014 |
| 1,0 | 2,998 | 2,873 | 2,014 | 2,203 | 2,387 | 2,859 | 2,884 | 2,892 | 2,894 | 2,869 | 2,866 | 2,884 |

Tabela 10: Probabilidade acumulada de ocorrência associada aos valores de SRI considerados no processo de reescalonamento (bacia do rio Lima)

| IE_SRI | Out | Nov | Dez | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0,0 | 0,019 | 0,035 | 0,016 | 0,015 | 0,016 | 0,021 | 0,020 | 0,020 | 0,020 | 0,024 | 0,020 | 0,015 |
| 0,3 | 0,100 | 0,100 | 0,100 | 0,100 | 0,100 | 0,100 | 0,100 | 0,100 | 0,100 | 0,100 | 0,100 | 0,100 |
| 0,5 | 0,530 | 0,524 | 0,517 | 0,555 | 0,551 | 0,488 | 0,470 | 0,444 | 0,482 | 0,486 | 0,494 | 0,506 |
| 1,0 | 0,999 | 0,998 | 0,978 | 0,986 | 0,992 | 0,998 | 0,998 | 0,998 | 0,998 | 0,998 | 0,998 | 0,998 |

Tendo por base valores da Tabela 9, e a respetiva probabilidade acumulada de ocorrência dos mesmos (Tabela 10), efetuou-se o reescalonamento dos valores de SRI, estando a correspondente evolução mensal do Índice de Estado SRI, bem como os respetivos valores mensais relativos ao período de análise (10/1980 – 09/2017), apresentados na Figura 15 e na Tabela 11, respetivamente.

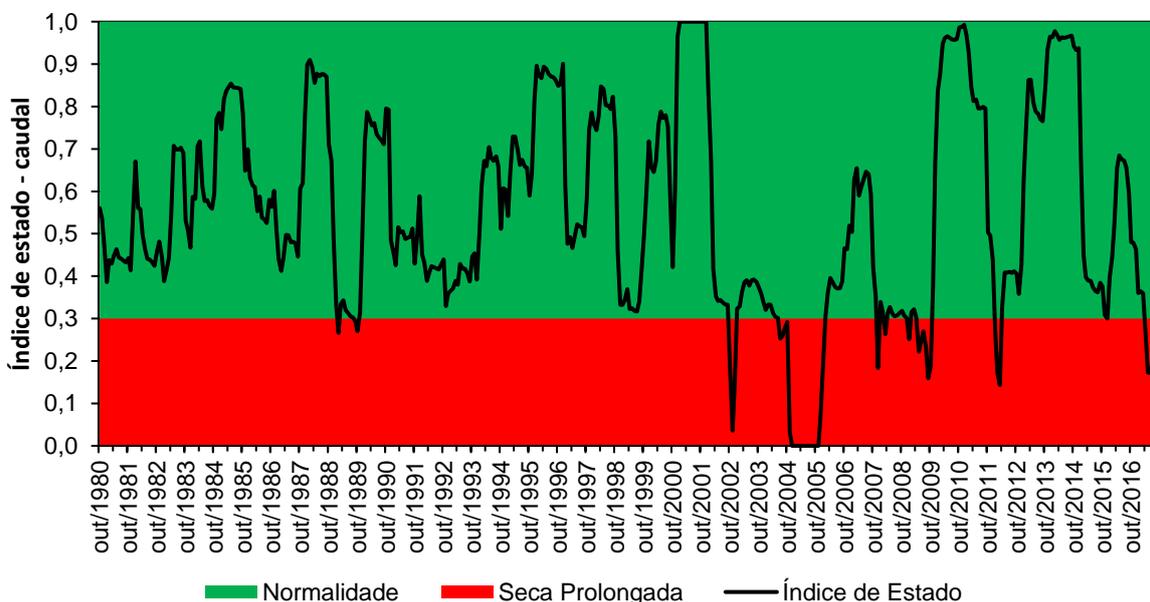


Figura 15: Evolução temporal do Índice de Estado SRI na parte portuguesa da bacia Hidrográfica do rio Minho.

Indicadores de Seca Prolongada na parte portuguesa das bacias hidrográficas dos rios Minho e Lima

Tabela 11: Evolução mensal do Índice de Estado SRI na parte portuguesa da Bacia Hidrográfica do rio Lima

| Ano Hidrológico | Out | Nov | Dez | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1980/1981 | 0,561 | 0,536 | 0,462 | 0,386 | 0,438 | 0,430 | 0,448 | 0,463 | 0,444 | 0,441 | 0,436 | 0,433 |
| 1981/1982 | 0,442 | 0,414 | 0,556 | 0,670 | 0,561 | 0,558 | 0,498 | 0,463 | 0,441 | 0,438 | 0,433 | 0,424 |
| 1982/1983 | 0,459 | 0,481 | 0,446 | 0,388 | 0,416 | 0,444 | 0,544 | 0,707 | 0,699 | 0,698 | 0,703 | 0,690 |
| 1983/1984 | 0,531 | 0,509 | 0,467 | 0,587 | 0,582 | 0,706 | 0,718 | 0,612 | 0,577 | 0,579 | 0,566 | 0,559 |
| 1984/1985 | 0,595 | 0,770 | 0,785 | 0,746 | 0,817 | 0,836 | 0,847 | 0,854 | 0,845 | 0,844 | 0,844 | 0,842 |
| 1985/1986 | 0,783 | 0,649 | 0,699 | 0,631 | 0,614 | 0,610 | 0,553 | 0,588 | 0,538 | 0,534 | 0,525 | 0,580 |
| 1986/1987 | 0,564 | 0,601 | 0,512 | 0,441 | 0,412 | 0,443 | 0,497 | 0,496 | 0,480 | 0,481 | 0,478 | 0,446 |
| 1987/1988 | 0,607 | 0,620 | 0,781 | 0,899 | 0,910 | 0,894 | 0,856 | 0,877 | 0,871 | 0,877 | 0,876 | 0,870 |
| 1988/1989 | 0,711 | 0,673 | 0,486 | 0,331 | 0,266 | 0,334 | 0,343 | 0,321 | 0,313 | 0,305 | 0,303 | 0,295 |
| 1989/1990 | 0,270 | 0,314 | 0,495 | 0,718 | 0,787 | 0,773 | 0,755 | 0,760 | 0,735 | 0,727 | 0,719 | 0,711 |
| 1990/1991 | 0,796 | 0,792 | 0,484 | 0,456 | 0,426 | 0,515 | 0,503 | 0,505 | 0,488 | 0,490 | 0,492 | 0,513 |
| 1991/1992 | 0,430 | 0,496 | 0,588 | 0,451 | 0,432 | 0,389 | 0,407 | 0,423 | 0,421 | 0,419 | 0,416 | 0,428 |
| 1992/1993 | 0,439 | 0,329 | 0,360 | 0,366 | 0,371 | 0,389 | 0,380 | 0,429 | 0,417 | 0,418 | 0,407 | 0,387 |
| 1993/1994 | 0,447 | 0,454 | 0,392 | 0,499 | 0,613 | 0,672 | 0,659 | 0,704 | 0,678 | 0,672 | 0,682 | 0,659 |
| 1994/1995 | 0,511 | 0,607 | 0,604 | 0,542 | 0,645 | 0,729 | 0,729 | 0,698 | 0,662 | 0,674 | 0,659 | 0,656 |
| 1995/1996 | 0,590 | 0,641 | 0,813 | 0,896 | 0,873 | 0,867 | 0,894 | 0,888 | 0,876 | 0,871 | 0,869 | 0,863 |
| 1996/1997 | 0,849 | 0,852 | 0,901 | 0,612 | 0,476 | 0,492 | 0,466 | 0,496 | 0,522 | 0,518 | 0,515 | 0,494 |
| 1997/1998 | 0,583 | 0,744 | 0,787 | 0,759 | 0,744 | 0,778 | 0,847 | 0,841 | 0,803 | 0,802 | 0,794 | 0,823 |
| 1998/1999 | 0,730 | 0,460 | 0,332 | 0,333 | 0,346 | 0,370 | 0,323 | 0,324 | 0,318 | 0,316 | 0,340 | 0,423 |
| 1999/2000 | 0,499 | 0,595 | 0,718 | 0,658 | 0,646 | 0,670 | 0,759 | 0,788 | 0,773 | 0,779 | 0,753 | 0,571 |
| 2000/2001 | 0,421 | 0,598 | 0,964 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 |
| 2001/2002 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 0,830 | 0,676 | 0,417 | 0,352 | 0,341 | 0,343 | 0,338 | 0,333 | 0,332 |
| 2002/2003 | 0,184 | 0,036 | 0,153 | 0,324 | 0,329 | 0,361 | 0,386 | 0,390 | 0,378 | 0,391 | 0,392 | 0,386 |
| 2003/2004 | 0,374 | 0,358 | 0,339 | 0,321 | 0,333 | 0,332 | 0,313 | 0,304 | 0,301 | 0,253 | 0,259 | 0,278 |
| 2004/2005 | 0,292 | 0,032 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 2005/2006 | 0,000 | 0,000 | 0,077 | 0,202 | 0,306 | 0,360 | 0,396 | 0,386 | 0,375 | 0,371 | 0,371 | 0,388 |
| 2006/2007 | 0,466 | 0,463 | 0,519 | 0,504 | 0,627 | 0,655 | 0,590 | 0,610 | 0,630 | 0,647 | 0,640 | 0,593 |
| 2007/2008 | 0,421 | 0,352 | 0,184 | 0,339 | 0,314 | 0,263 | 0,312 | 0,327 | 0,311 | 0,306 | 0,308 | 0,313 |
| 2008/2009 | 0,319 | 0,306 | 0,302 | 0,251 | 0,315 | 0,322 | 0,303 | 0,222 | 0,247 | 0,270 | 0,233 | 0,159 |
| 2009/2010 | 0,189 | 0,372 | 0,673 | 0,837 | 0,876 | 0,947 | 0,962 | 0,966 | 0,961 | 0,958 | 0,957 | 0,959 |
| 2010/2011 | 0,987 | 0,988 | 0,992 | 0,969 | 0,928 | 0,846 | 0,812 | 0,816 | 0,795 | 0,795 | 0,799 | 0,796 |
| 2011/2012 | 0,503 | 0,496 | 0,438 | 0,278 | 0,173 | 0,144 | 0,328 | 0,408 | 0,408 | 0,410 | 0,408 | 0,411 |
| 2012/2013 | 0,405 | 0,358 | 0,428 | 0,627 | 0,744 | 0,862 | 0,863 | 0,809 | 0,789 | 0,782 | 0,770 | 0,765 |
| 2013/2014 | 0,843 | 0,934 | 0,965 | 0,963 | 0,977 | 0,968 | 0,957 | 0,963 | 0,962 | 0,963 | 0,965 | 0,967 |
| 2014/2015 | 0,942 | 0,933 | 0,938 | 0,670 | 0,450 | 0,398 | 0,390 | 0,389 | 0,374 | 0,365 | 0,362 | 0,384 |
| 2015/2016 | 0,375 | 0,309 | 0,300 | 0,396 | 0,446 | 0,525 | 0,655 | 0,685 | 0,676 | 0,673 | 0,656 | 0,596 |
| 2016/2017 | 0,480 | 0,479 | 0,463 | 0,360 | 0,364 | 0,360 | 0,261 | 0,173 | 0,172 | 0,196 | 0,194 | 0,153 |

3.4 Indicador de Seca Prolongada

3.4.1 Parte Portuguesa da bacia Hidrográfica do rio Lima

Definidos os Índices de Estado SPI e SRI, os mesmos foram agregados, com um peso de 60 % e 40%, respetivamente, similarmente ao considerado no PEASAES_DHMS, dando origem a um único indicador de Seca Prolongada, denominado de Índice de Estado de Seca Prolongada, para a parte portuguesa da bacia hidrográfica do rio Lima (Figura 16 e Tabela 12).

Indicadores de Seca Prolongada na parte portuguesa das bacias hidrográficas dos rios Minho e Lima

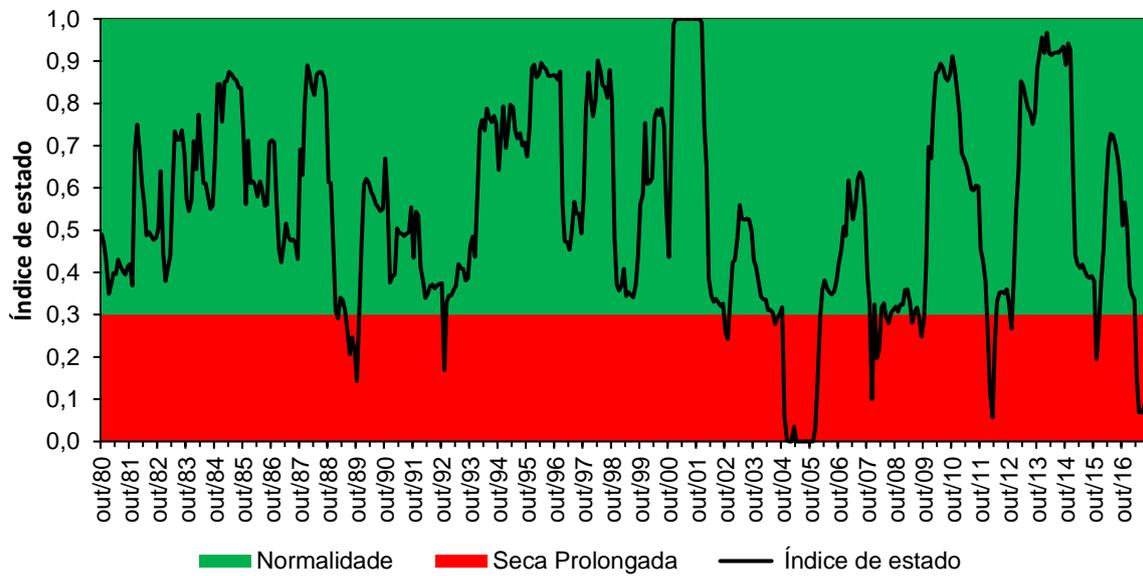


Figura 16: Evolução temporal do Índice de Estado de Seca Prolongada na parte portuguesa da Bacia Hidrográfica do rio Lima

Indicadores de Seca Prolongada na parte portuguesa das bacias hidrográficas dos rios Minho e Lima

Tabela 12: Evolução mensal do Índice de Estado de Seca Prolongada na parte portuguesa da Bacia Hidrográfica do rio Lima.

| Ano Hidrológico | Out | Nov | Dez | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1980/1981 | 0,516 | 0,500 | 0,431 | 0,349 | 0,380 | 0,397 | 0,407 | 0,431 | 0,411 | 0,399 | 0,393 | 0,414 |
| 1981/1982 | 0,418 | 0,368 | 0,688 | 0,750 | 0,695 | 0,609 | 0,563 | 0,488 | 0,495 | 0,486 | 0,477 | 0,482 |
| 1982/1983 | 0,501 | 0,638 | 0,445 | 0,379 | 0,409 | 0,439 | 0,594 | 0,734 | 0,714 | 0,714 | 0,736 | 0,681 |
| 1983/1984 | 0,567 | 0,542 | 0,572 | 0,710 | 0,644 | 0,773 | 0,699 | 0,611 | 0,610 | 0,581 | 0,550 | 0,559 |
| 1984/1985 | 0,667 | 0,843 | 0,846 | 0,756 | 0,851 | 0,854 | 0,874 | 0,869 | 0,858 | 0,855 | 0,837 | 0,836 |
| 1985/1986 | 0,736 | 0,559 | 0,712 | 0,612 | 0,615 | 0,606 | 0,580 | 0,615 | 0,594 | 0,558 | 0,561 | 0,708 |
| 1986/1987 | 0,707 | 0,704 | 0,575 | 0,454 | 0,424 | 0,464 | 0,515 | 0,485 | 0,475 | 0,478 | 0,469 | 0,432 |
| 1987/1988 | 0,686 | 0,628 | 0,799 | 0,891 | 0,869 | 0,838 | 0,819 | 0,868 | 0,873 | 0,874 | 0,862 | 0,828 |
| 1988/1989 | 0,609 | 0,609 | 0,455 | 0,309 | 0,290 | 0,341 | 0,334 | 0,311 | 0,257 | 0,206 | 0,247 | 0,216 |
| 1989/1990 | 0,142 | 0,296 | 0,477 | 0,607 | 0,621 | 0,612 | 0,591 | 0,581 | 0,562 | 0,554 | 0,545 | 0,551 |
| 1990/1991 | 0,667 | 0,582 | 0,376 | 0,390 | 0,396 | 0,505 | 0,493 | 0,491 | 0,486 | 0,492 | 0,495 | 0,554 |
| 1991/1992 | 0,433 | 0,542 | 0,535 | 0,413 | 0,379 | 0,340 | 0,349 | 0,368 | 0,371 | 0,362 | 0,370 | 0,373 |
| 1992/1993 | 0,372 | 0,168 | 0,330 | 0,345 | 0,345 | 0,359 | 0,368 | 0,420 | 0,411 | 0,408 | 0,381 | 0,386 |
| 1993/1994 | 0,462 | 0,483 | 0,437 | 0,593 | 0,738 | 0,761 | 0,736 | 0,788 | 0,767 | 0,756 | 0,771 | 0,752 |
| 1994/1995 | 0,636 | 0,719 | 0,793 | 0,695 | 0,737 | 0,796 | 0,791 | 0,736 | 0,717 | 0,729 | 0,701 | 0,707 |
| 1995/1996 | 0,669 | 0,732 | 0,884 | 0,892 | 0,861 | 0,869 | 0,896 | 0,887 | 0,880 | 0,865 | 0,864 | 0,867 |
| 1996/1997 | 0,864 | 0,855 | 0,875 | 0,564 | 0,474 | 0,471 | 0,454 | 0,497 | 0,567 | 0,540 | 0,539 | 0,492 |
| 1997/1998 | 0,575 | 0,783 | 0,873 | 0,813 | 0,769 | 0,809 | 0,902 | 0,878 | 0,843 | 0,837 | 0,813 | 0,879 |
| 1998/1999 | 0,805 | 0,480 | 0,371 | 0,357 | 0,370 | 0,409 | 0,344 | 0,353 | 0,346 | 0,341 | 0,371 | 0,439 |
| 1999/2000 | 0,555 | 0,582 | 0,754 | 0,609 | 0,613 | 0,623 | 0,764 | 0,785 | 0,773 | 0,788 | 0,746 | 0,550 |
| 2000/2001 | 0,435 | 0,712 | 0,986 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 |
| 2001/2002 | 1,000 | 1,000 | 0,991 | 0,747 | 0,647 | 0,384 | 0,344 | 0,331 | 0,338 | 0,329 | 0,321 | 0,326 |
| 2002/2003 | 0,257 | 0,242 | 0,343 | 0,423 | 0,429 | 0,484 | 0,559 | 0,527 | 0,525 | 0,527 | 0,525 | 0,498 |
| 2003/2004 | 0,427 | 0,412 | 0,375 | 0,344 | 0,336 | 0,336 | 0,311 | 0,312 | 0,304 | 0,278 | 0,292 | 0,303 |
| 2004/2005 | 0,316 | 0,061 | 0,003 | 0,000 | 0,000 | 0,035 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 2005/2006 | 0,000 | 0,000 | 0,031 | 0,138 | 0,291 | 0,359 | 0,381 | 0,362 | 0,353 | 0,348 | 0,356 | 0,380 |
| 2006/2007 | 0,419 | 0,452 | 0,508 | 0,487 | 0,617 | 0,572 | 0,526 | 0,560 | 0,621 | 0,636 | 0,621 | 0,558 |
| 2007/2008 | 0,392 | 0,323 | 0,099 | 0,325 | 0,196 | 0,217 | 0,317 | 0,327 | 0,295 | 0,280 | 0,304 | 0,311 |
| 2008/2009 | 0,319 | 0,307 | 0,323 | 0,324 | 0,359 | 0,360 | 0,329 | 0,281 | 0,305 | 0,317 | 0,292 | 0,248 |
| 2009/2010 | 0,289 | 0,427 | 0,697 | 0,670 | 0,788 | 0,872 | 0,876 | 0,894 | 0,884 | 0,861 | 0,854 | 0,869 |
| 2010/2011 | 0,911 | 0,883 | 0,828 | 0,778 | 0,683 | 0,668 | 0,653 | 0,629 | 0,597 | 0,594 | 0,605 | 0,604 |
| 2011/2012 | 0,448 | 0,427 | 0,380 | 0,260 | 0,118 | 0,058 | 0,230 | 0,331 | 0,353 | 0,354 | 0,350 | 0,360 |
| 2012/2013 | 0,327 | 0,266 | 0,387 | 0,544 | 0,646 | 0,853 | 0,842 | 0,813 | 0,788 | 0,778 | 0,751 | 0,779 |
| 2013/2014 | 0,881 | 0,921 | 0,956 | 0,919 | 0,967 | 0,918 | 0,915 | 0,919 | 0,920 | 0,920 | 0,926 | 0,934 |
| 2014/2015 | 0,890 | 0,941 | 0,926 | 0,641 | 0,441 | 0,420 | 0,411 | 0,419 | 0,405 | 0,391 | 0,387 | 0,392 |
| 2015/2016 | 0,377 | 0,195 | 0,267 | 0,384 | 0,456 | 0,587 | 0,692 | 0,728 | 0,724 | 0,701 | 0,670 | 0,624 |
| 2016/2017 | 0,509 | 0,564 | 0,510 | 0,369 | 0,348 | 0,336 | 0,151 | 0,069 | 0,069 | 0,078 | 0,107 | 0,073 |

Através da Figura 16 e da Tabela 12 verifica-se que entre outubro de 1980 e setembro de 2017, na parte portuguesa da Bacia Hidrográfica do rio Lima, existiram 50 meses em que foi atingido o estado de Seca Prolongada, estando os mesmos explicitados na Tabela 13.

Indicadores de Seca Prolongada na parte portuguesa das bacias hidrográficas dos rios Minho e Lima

Tabela 13: Eventos de Seca Prolongada verificados na parte portuguesa da bacia Hidrográfica do rio Lima, entre 10/1980 - 09/2017

| Evento | Início | Fim | Meses em Seca Prolongada |
|--------------|----------|----------|--------------------------|
| 1 | fev/1989 | fev/1989 | 1 |
| 2 | jun/1989 | nov/1989 | 6 |
| 3 | nov/1992 | nov/1992 | 1 |
| 4 | out/2002 | nov/2002 | 2 |
| 5 | jul/2004 | ago/2004 | 2 |
| 6 | nov/2004 | fev/2006 | 16 |
| 7 | dez/2007 | dez/2007 | 1 |
| 8 | fev/2008 | mar/2008 | 2 |
| 9 | jun/2008 | jul/2008 | 2 |
| 10 | mai/2009 | mai/2009 | 1 |
| 11 | ago/2009 | out/2009 | 3 |
| 12 | jan/2012 | abr/2012 | 4 |
| 13 | nov/2012 | nov/2012 | 1 |
| 14 | nov/2015 | dez/2015 | 2 |
| 15 | abr/2017 | set/2017 | 6 |
| Total | | | 50 |

Na parte portuguesa da bacia hidrográfica do rio Lima, entre outubro de 1980 e setembro de 2017, o evento de Seca Prolongada mais extenso e com maior intensidade/severidade ocorreu entre novembro de 2004 e fevereiro de 2006, tendo o mesmo durado 16 meses.

Em termos de intensidade de destacar também os eventos ocorridos entre junho e novembro de 1989 (6 meses) e, mais recentemente, entre janeiro e abril de 2012 (4 meses) e abril a setembro de 2017 (6 meses), tendo estes últimos apresentando uma intensidade mais considerável.

Em termos gerais, poder-se-á dizer que, excetuando o longo período (16 meses) de seca severa ocorrido entre 2004/2006, a parte portuguesa da bacia do rio Lima é marcada pela ocorrência de eventos de seca de relativa curta duração (1 a 6 meses), cuja frequência de ocorrência, tem vindo aumentar nos anos mais recentes.

3.4.2 Comparação entre a parte portuguesa e espanhola da bacia

Determinado o Índice de Estado de Seca Prolongada na parte portuguesa da bacia do rio Lima, procedeu-se à sua comparação com o Índice de Estado de Seca Prolongada na parte espanhola da bacia, nomeadamente com a correspondente à unidade de exploração mais próxima e adjacente à mesma, a UTS 06 Limia, sendo esta comparação apresentada na Figura 17.

Indicadores de Seca Prolongada na parte portuguesa das bacias hidrográficas dos rios Minho e Lima

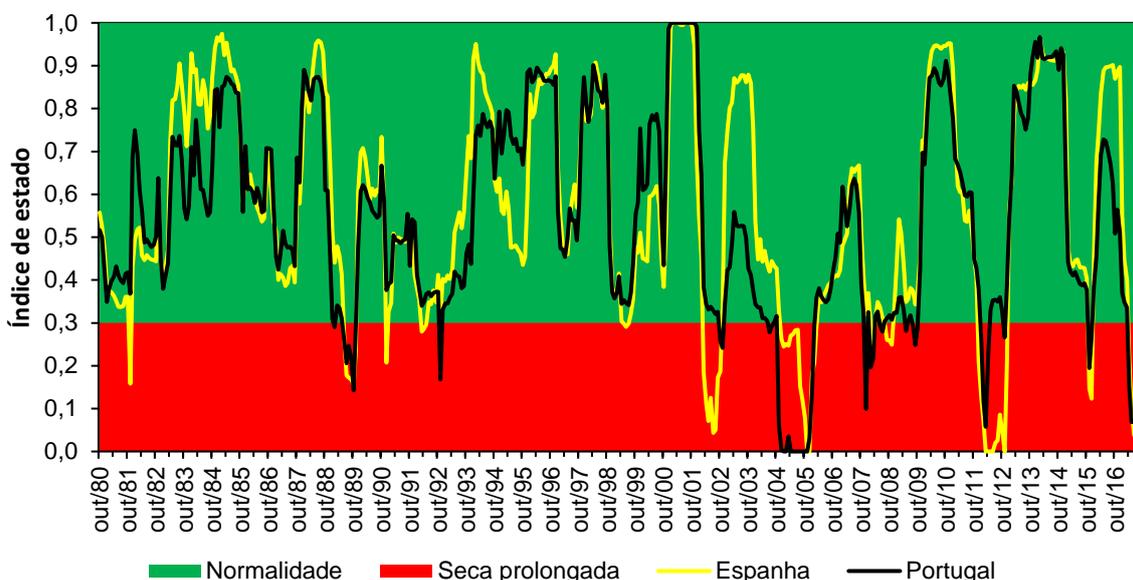


Figura 17: Comparação entre a evolução dos indicadores de Seca Prolongada entre a parte portuguesa e espanhola (UTS 06 Limia) da bacia do rio Lima.

Na Tabela 14 são referenciados os meses em que se atingiu o estado de Seca Prolongada na UTS 06 Limia.

Tabela 14: Eventos de Seca Prolongada verificados na parte espanhola da bacia Hidrográfica do rio Lima (UTS 06 Limia), entre 1980/1981 - 2016/2017

| Evento | Início | Fim | Meses em Seca Prolongada |
|--------------|--------|--------|--------------------------|
| 1 | nov/81 | nov/81 | 1 |
| 2 | jun/89 | nov/89 | 6 |
| 3 | dez/90 | dez/90 | 1 |
| 4 | mar/92 | mai/92 | 3 |
| 5 | mai/99 | jul/99 | 3 |
| 6 | mar/02 | out/02 | 8 |
| 7 | dez/04 | mar/06 | 16 |
| 8 | fev/08 | mar/08 | 2 |
| 9 | ago/08 | nov/08 | 4 |
| 10 | dez/11 | dez/12 | 13 |
| 11 | nov/15 | dez/15 | 2 |
| 12 | abr/17 | set/17 | 6 |
| Total | | | 65 |

Através da Figura 17 e da comparação das Tabelas 13 e 14 verifica-se que na parte espanhola existiram mais e/ou mais longos (no total mais 15 meses) episódios de seca prolongada do que na parte portuguesa.

Na parte portuguesa, verifica-se que o maior e mais intenso evento ocorreu entre o final de 2004 e início de 2006.

Indicadores de Seca Prolongada na parte portuguesa das bacias hidrográficas dos rios Minho e Lima



Na parte espanhola, o evento de Seca Prolongada de maior duração foi, tal como na parte portuguesa, verificado no período 2004 – 2006 (também 16 meses), ainda que, não tenha sido esse, contudo, o evento com maior intensidade, que correspondeu ao evento ocorrido entre 12/2011 e 12/2012, tendo este último apresentado também uma duração similar (13 meses).

Para além destes, o evento corrido entre junho e novembro de 1989 foi comum às duas partes da bacia, tendo-se verificado uma intensidade considerável e semelhante nas duas partes. De referir também que o mais recente episódio de seca prolongada verificado na bacia é praticamente coincidente nas partes portuguesa e espanhola em termos temporais (04/2017 a 09/2017), apresentando também intensidades similares e consideráveis.

Através da comparação dos dois Índices de Estado, verifica-se na parte portuguesa a existência de um maior, ainda que ligeiro, número de eventos de seca, contudo, em geral, em Espanha os eventos apresentaram uma maior duração, o que resultou num maior número de meses em Seca Prolongada

Em geral, apesar de intensidades e durações diferentes, existe uma certa concordância entre os períodos de Seca Prolongada na parte espanhola e na parte portuguesa.

4 Bacia Hidrográfica do rio Minho

Para a parte portuguesa da Bacia Hidrográfica do rio Minho, o procedimento de cálculo que culminou na definição do Indicador de Seca Prolongada foi em tudo similar ao apresentado para a Bacia Hidrográfica do rio Lima, pelo que o mesmo será explicitado de forma mais sintética e resumida.

4.1 Caracterização geográfica da bacia hidrográfica

A parte portuguesa da bacia do rio Minho tem uma área de aproximadamente 815 km², correspondendo a 5% da área total da bacia. Esta área é constituída por 8 municípios: Arcos de Valdevez, Caminha, Melgaço, Monção, Paredes de Coura, Valença, Viana do Castelo e Vila Nova de Cerveira.

No *PEASAES_DHMS* são definidas cinco unidades de análise de seca prolongada (UTS) na parte espanhola da bacia do rio Minho, sendo a unidade menor (UTS05 – Cabe, com 736 km²), em termos de área, da mesma ordem de grandeza da parte portuguesa da bacia, pelo que se admitiu neste trabalho que a parte portuguesa da bacia corresponderia a uma unidade de análise única.

4.2 Seleção das variáveis

4.2.1 Precipitação

Tal como para a bacia do rio Lima, a precipitação média mensal ponderada na bacia do rio Minho foi determinada através do método de *Thiessen*.

A seleção das estações meteorológicas a usar seguiu os mesmos critérios apresentados anteriormente neste documento (em 3.1.1), tendo resultado na seleção de 15 estações meteorológicas, cujas características se encontram sintetizadas na Tabela 15.

Indicadores de Seca Prolongada na parte portuguesa das bacias hidrográficas dos rios Minho e Lima

Tabela 15: Estações meteorológicas consideradas para o cálculo da precipitação média mensal ponderada na bacia Hidrográfica do rio Minho

| Código (SNIRH) | Estação | Bacia Hidrográfica | Coordenadas (°N; °W) | Altitude (m) | % de registos |
|----------------|-----------------------|--------------------|----------------------|--------------|---------------|
| 02E/03UG | Arga de Baixo | Minho | 41,846; -8,713 | 478 | 62,04 % |
| 02H/01IG | Bouçã dos Homens | Lima | 41,997; -8,257 | 1044 | 58,78 % |
| 02E/04UG | Caminha | Minho | 41,867; -8,832 | 26 | 81,70 % |
| 02F/02G | Cerdeira | Minho | 41,884; -8,571 | 452 | 62,05 % |
| 02F/04G | Chã de Virialho | Minho | 41,98; -8,566 | 692 | 80,58 % |
| 01H/05G | Cubalhão | Minho | 42,056; -8,248 | 753 | 78,96 % |
| 02G/03G | Extremo | Minho | 41,963; -8,468 | 419 | 80,17 % |
| 01H/06UG | Fiães (Melgaço) | Minho | 42,105; -8,21 | 715 | 77,67 % |
| 01F/01UG | Friestas | Minho | 42,045; -8,56 | 32 | 71,00 % |
| 01G/03UG | Merufe | Minho | 42,018; -8,389 | 162 | 60,90 % |
| 01G/02UG | Parada (Monção) | Minho | 42,022; -8,462 | 246 | 78,80 % |
| 01H/02G | Portelinha | Lima | 42,052; -8,172 | 1018 | 76,24 % |
| 02G/04UG | Sistelo | Lima | 41,97; -8,368 | 306 | 65,94 % |
| 01F/02UG | Valença | Minho | 42,013; -8,645 | 15 | 72,33 % |
| 02E/02GC | Vila Nova de Cerveira | Minho | 41,939; -8,737 | 102 | 72,71 % |

Na Tabela 15, a coluna “% de registos” refere-se à percentagem de registos de precipitação diária que cada uma das estações possui para o período de 01/10/1979 – 30/09/2017.

Na Figura 18 encontram-se representados os polígonos de *Thiessen* obtidos, resumindo-se na Tabela 16 as correspondentes áreas de influência de cada uma das estações meteorológicas.

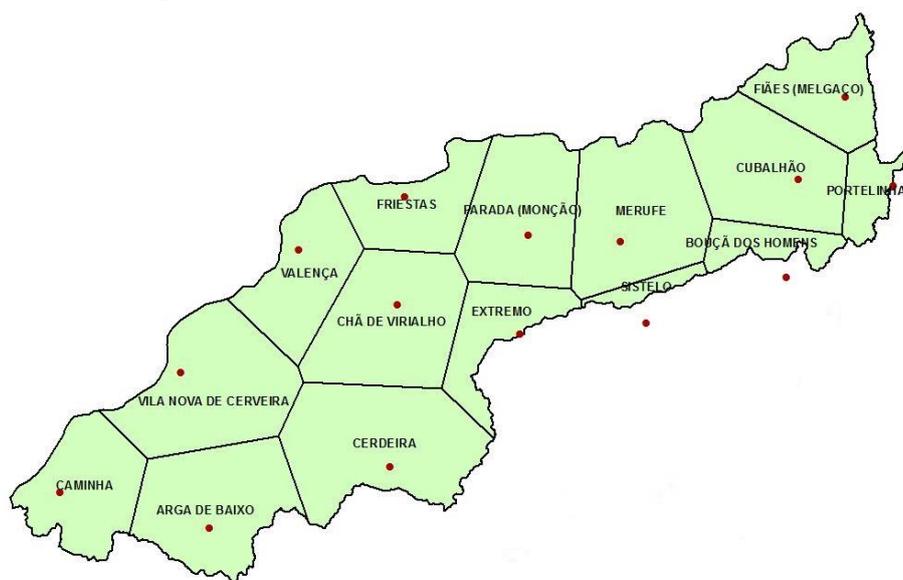


Figura 18: Polígonos de Thiessen usados no cálculo da precipitação média mensal ponderada na Bacia Hidrográfica do rio Minho

Indicadores de Seca Prolongada na parte portuguesa das bacias hidrográficas dos rios Minho e Lima

Tabela 16: Área de influência dos polígonos de Thiessen associados às estações meteorológicas usadas no cálculo da precipitação média mensal na Bacia Hidrográfica do rio Minho

| Código (SNIRH) | Estação | Área de Influência (km ²) | % de Influência na bacia |
|----------------|-----------------------|---------------------------------------|--------------------------|
| 02E/03UG | Arga de Baixo | 71,05 | 8,78 |
| 02H/01IG | Bouçã dos Homens | 19,47 | 2,40 |
| 02E/04UG | Caminha | 53,26 | 6,58 |
| 02F/02G | Cerdeira | 91,56 | 11,31 |
| 02F/04G | Chã de Virialho | 75,99 | 9,39 |
| 01H/05G | Cubalhão | 71,16 | 8,79 |
| 02G/03G | Extremo | 34,62 | 4,28 |
| 01H/06UG | Fiães (Melgaço) | 44,13 | 5,45 |
| 01F/01UG | Friestas | 43,34 | 5,35 |
| 01G/03UG | Merufe | 79,74 | 9,85 |
| 01G/02UG | Parada (Monção) | 67,31 | 8,31 |
| 01H/02G | Portelinha | 17,54 | 2,17 |
| 02G/04UG | Sistelo | 8,57 | 1,06 |
| 01F/02UG | Valença | 50,93 | 6,29 |
| 02E/02GC | Vila Nova de Cerveira | 80,97 | 10,00 |

Conforme assinalado na Tabela 15, as estações seleccionadas apresentam falhas nos registos das precipitações diárias. Como tal, o preenchimento de falhas foi realizado de forma idêntica ao realizado para a parte portuguesa da bacia do rio Lima (ver 3.1.1), ou seja, recorrendo ao método IDW e usando como fonte de dados os registos de precipitação diária nas estações do SNIRH vizinhas e registos de precipitação diária do Dataset PT02.

Tal como para a bacia do Lima, para o período de 01/10/2009 – 30/11/2014, o preenchimento foi efetuado apenas ao nível da precipitação média mensal na bacia, tendo esta sido estimada através da regressão linear com os valores da precipitação média mensal na UTS 02 Miño-Bajo (Figura 19), uma vez que o coeficiente de correlação (R^2 igual 0,95) foi superior ao registado na comparação com os valores médios mensais da UTS 06 Limia (R^2 igual a 0,78).

Indicadores de Seca Prolongada na parte portuguesa das bacias hidrográficas dos rios Minho e Lima

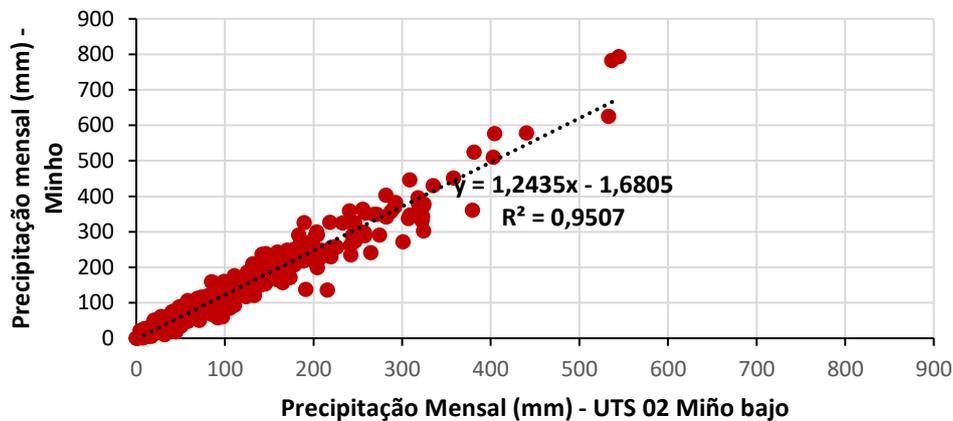


Figura 19: Correlação de valores mensal entre a precipitação mensal registada na UTS 02 Miño-bajo e a precipitação na parte portuguesa da bacia do rio Minho.

Preenchidas as falhas existentes, obteve-se a distribuição da precipitação média mensal ponderada na parte portuguesa da bacia do rio Minho, para o período de 01/10/1979 – 30/09/2017, estando a mesma representada na Figura 20.

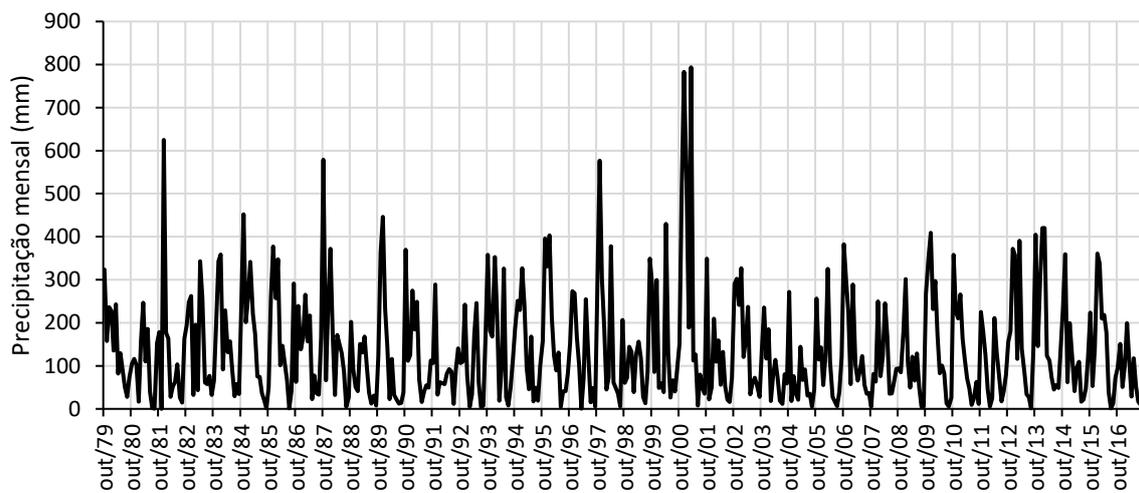


Figura 20: Evolução temporal da precipitação mensal na Bacia Hidrográfica do rio Minho entre 10/1979 - 09/2017.

4.2.1.1 Standardized Precipitation Index

Determinada a precipitação mensal na parte portuguesa da Bacia Hidrográfica do rio Minho, procedeu-se à transformação dos valores no SPI (SPI_{12}) para o período de 10/1980 – 09/2017 (Figura 21), de acordo com o método de *Mckee et al* (1993) e conforme detalhado no *PEASAES_DHMS*, tendo-se em consideração, para cada mês, os registos mensais acumulados dos 12 meses anteriores.

Indicadores de Seca Prolongada na parte portuguesa das bacias hidrográficas dos rios Minho e Lima

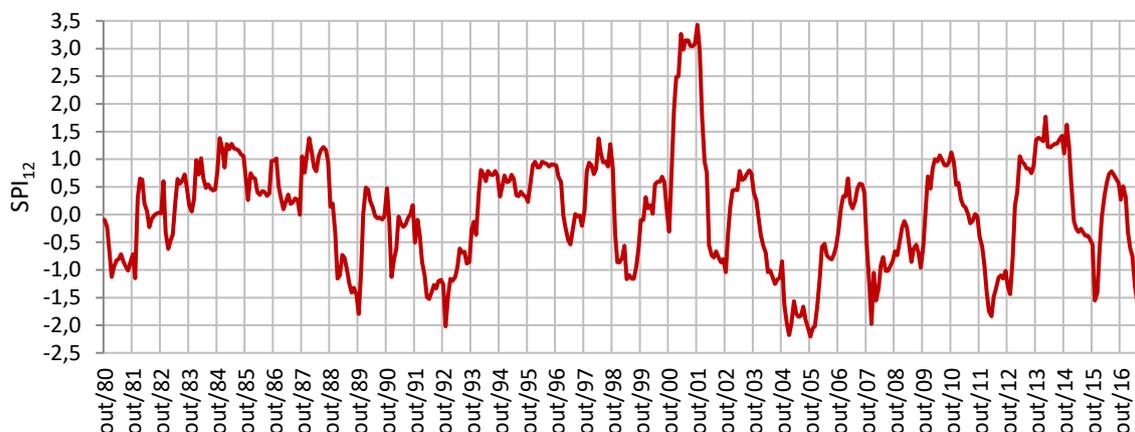


Figura 21: Evolução temporal do SPI₁₂ na parte portuguesa da Bacia Hidrográfica do rio Minho, no período de 10/1980 - 09/2017.

4.2.2 Escoamento

Segundo o SNIRH existem 4 EH ativas na bacia hidrográfica do rio Minho, conforme representado na Figura 22.



Figura 22: Estações hidrométricas ativas presentes na bacia Hidrográfica do rio Minho

Destas 4 estações, selecionou-se a estação hidrométrica de Segude como sendo representativa da variável escoamento, uma vez que às aflúências à mesma são em regime natural e uma vez que a sub-bacia correspondente é contígua à sub-bacia de Pontilhão de Celeiros (Figura 23). Para além de serem contíguas, estas duas bacias apresentam áreas semelhantes (Pontilhão de Celeiros $\approx 170 \text{ km}^2$ e Segude $\approx 130 \text{ km}^2$), apresentado também semelhanças ao nível do regime de precipitação e ao nível do

Indicadores de Seca Prolongada na parte portuguesa das bacias hidrográficas dos rios Minho e Lima

tipo de solo, uma vez que são as duas constituídas, predominantemente, por um tipo de solo SCS de categoria B.

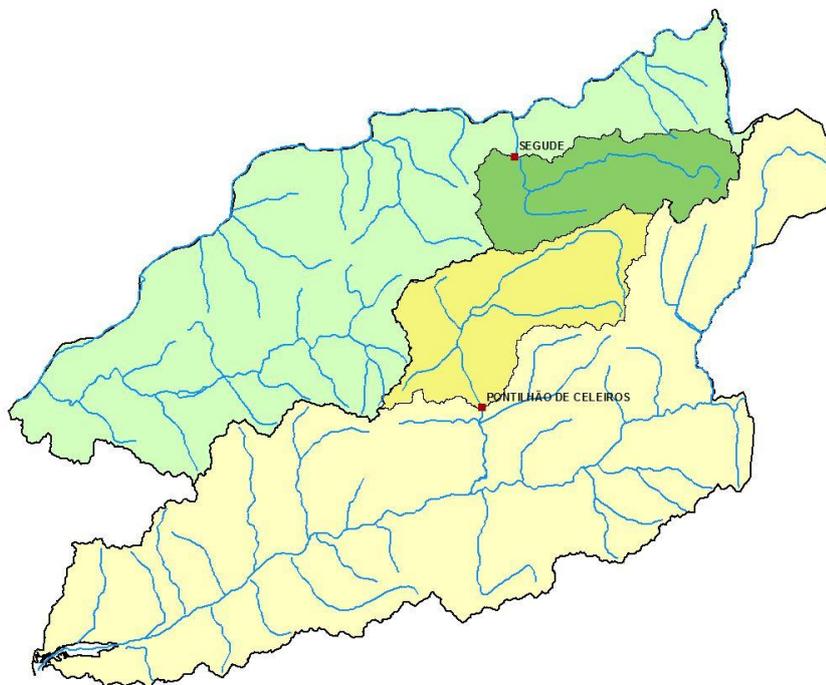


Figura 23: Localização das sub-bacias de Pontilhão de Celeiros (Lima) e de Segude (Minho)

Neste sentido, a proximidade e as semelhanças apresentadas com a sub-bacia de Pontilhão de Celeiros, foram determinantes na escolha da EH de Segude, e correspondente sub-bacia, devido ao facto da EH de Segude não possuir nenhuns registos de caudal diário. Na verdade, a EH apenas apresenta registo de níveis hidrométricos, sem ter, contudo, uma curva de vazão associada que permita a transformação dos níveis hidrométricos em caudal. Assim, para além da inexistência de registos que permitam a definição do indicador de Seca Prolongada, esta ausência de dados fez com que não fosse possível efetuar a calibração do modelo hidrológico da sub-bacia correspondente.

Desta forma, para a realização da modelação hidrológica da sub-bacia de Segude, adotaram-se os parâmetros de simulação do método SMA obtidos e calibrados para a sub-bacia de Pontilhão de Celeiros, sendo que, tal como para a sub-bacia de Pontilhão de Celeiros, para os outros métodos de simulação hidrológica considerados, os parâmetros foram definidos automaticamente pelo modelo computacional, tendo por base as características da sub-bacia, quando da construção do modelo hidrológico.

4.2.2.1 Modelação Hidrológica

a) Construção do modelo hidrológico

Modelo da Bacia

O procedimento para a construção do modelo hidrológico foi em tudo similar ao realizado para a construção do modelo de Pontilhão de Celeiros, estando representado na Figura 24 o esquema conceptual do modelo hidrológico da sub-bacia de Segude.

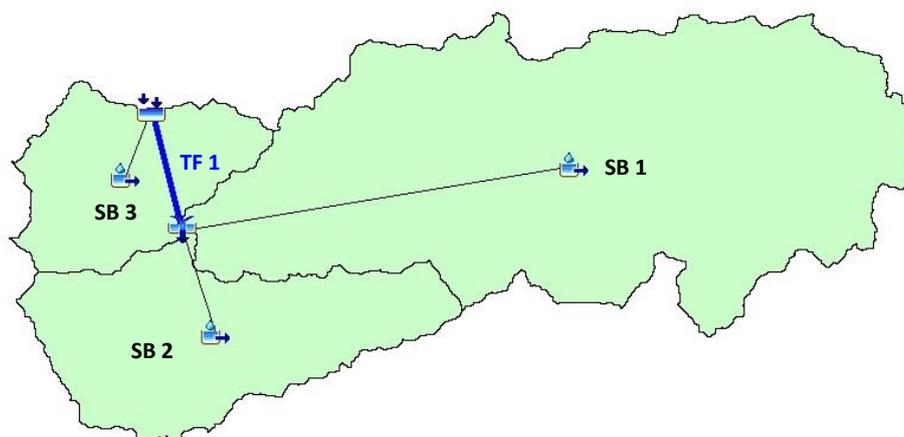


Figura 24: Representação do modelo hidrológico da sub-bacia de Segude

Modelo Meteorológico

A definição do modelo meteorológico da sub-bacia de Segude foi realizado de forma similar ao apresentado e explicitado para o modelo hidrológico da sub-bacia de Pontilhão de Celeiros, pelo que de seguida se detalha apenas os aspetos principais da construção do mesmo.

- Precipitação

A precipitação diária em cada uma das 3 sub-bacias que constitui o modelo hidrológico foi calculada recorrendo ao método de *Thiessen*, tendo por base as estações meteorológicas com influência em cada uma delas.

Tal como no modelo da sub-bacia de Pontilhão de Celeiros, foi necessário estimar os valores de precipitação diária em cada uma das 3 sub-bacias que compõem o modelo, para o período de 01/10/2009 a 30/11/2014. Neste sentido, o método e o procedimento que resultou na estimativa da precipitação diária em cada uma das sub-bacias foi igual ao detalhado para a sub-bacia de Pontilhão de Celeiros (ponto 3.1.2.1).

Indicadores de Seca Prolongada na parte portuguesa das bacias hidrográficas dos rios Minho e Lima

As estações meteorológicas espanholas usadas para a estimativa da precipitação diária entre 01/10/2009 – 30/11/2014 foram as consideradas para a sub-bacia de Pontilhão de Celeiros, uma vez que foram também as estações onde se verificou melhor correlação entre os valores de precipitação mensal das mesmas e os valores de precipitação média mensal na sub-bacia de Segude. Assim, para o período de 01/10/2009 a 28/02/2011 a estimativa da precipitação diária foi realizada através da estação N019 - Rio Caldo en Bubaces (R^2 de 0,907), enquanto que para o período de 01/03/2011 a 30/11/2014 a estimativa da precipitação diária foi efetuada através da estação N035 - Rio Deva en As Regadas) (R^2 de 0,917).

- Evapotranspiração Potencial

No que se refere à Evapotranspiração Potencial, adotou-se, para cada uma das sub-bacias do modelo, os valores presentes na Tabela 5 deste documento, devendo-se tal ao facto de existirem muito poucos registos de temperatura mensal nas estações meteorológicas presentes na bacia do rio Minho. Assim, uma vez que as sub-bacias de Pontilhão de Celeiros e de Segude são contíguas (conforme representado na Figura 23) adotaram-se os valores de Evapotranspiração Potencial definidos para a sub-bacia de Pontilhão de Celeiros

Métodos de Simulação Hidrológica

A modelação hidrológica da sub-bacia de Segude foi efetuada recorrendo aos mesmos métodos usados para a modelação hidrológica da sub-bacia de Pontilhão de Celeiros, ou seja: *Simple Canopy*, *Simple Surface*, *Soil Moisture Accounting (SMA)*, *SCS Unit Hydrograph*, *Recession*, *Musking-Cunge*.

b) Calibração e verificação do modelo hidrológico

Tal como referido anteriormente, não foi possível efetuar a calibração e a verificação do modelo hidrológico da sub-bacia de Segude, devido à inexistência de dados de caudal na estação hidrométrica de Segude. Assim, no que se refere ao método *SMA*, os parâmetros adotados corresponderam aos parâmetros calibrados e verificados usados na modelação da sub-bacia de Pontilhão de Celeiros. Para os parâmetros dos restantes métodos, os valores considerados foram os definidos automaticamente aquando da construção do modelo, tendo em conta as características da sub-bacia.

c) Simulação Hidrológica

Tendo-se construído e definido o modelo hidrológico, efetuou-se a simulação hidrológica, em passo diário, dos caudais na secção de Segude. Uma vez que nesta

Indicadores de Seca Prolongada na parte portuguesa das bacias hidrográficas dos rios Minho e Lima

estação não existem registos de caudal, os caudais usados na definição do indicador de Seca Prolongada, corresponderam, na sua totalidade, aos valores simulados. A correspondente evolução temporal do escoamento mensal, em hm³, é representada na Figura 25.

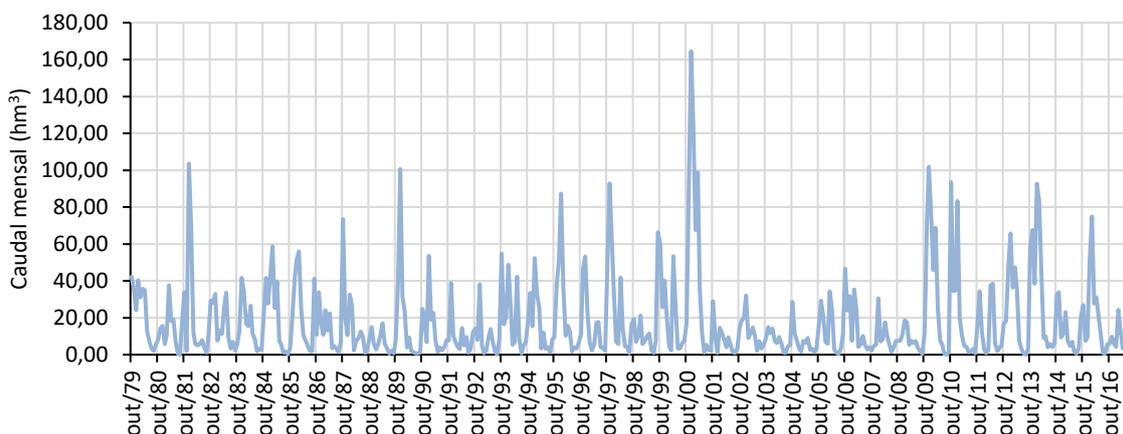


Figura 25: Evolução temporal do caudal médio mensal simulado na secção de Segude, entre 10/1979 – 09/2017

4.2.2.2 Standardized Runoff Index

Aplicando a metodologia desenvolvida por *Mckee et al.* (1993) e detalhada no *PEASAES_DHMS*, procedeu-se à definição do Índice SRI na parte portuguesa da bacia do rio Minho (Figura 26), mais concretamente do SRI₁₂, para o período de análise definido (01/10/1980 – 30/09/2017).

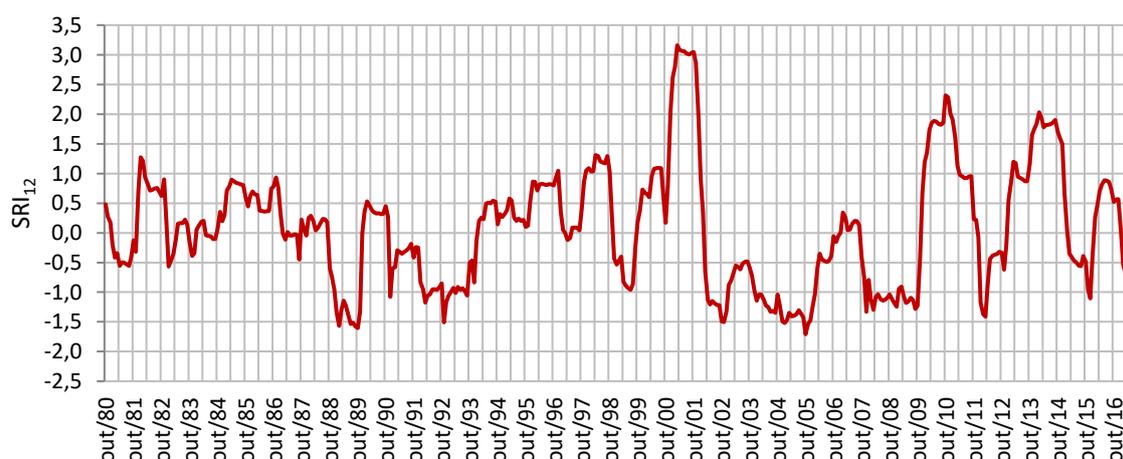


Figura 26: Evolução temporal do SRI₁₂ na parte portuguesa da bacia hidrográfica do rio Minho, para o período de 10/1980 – 09/2017.

Indicadores de Seca Prolongada na parte portuguesa das bacias hidrográficas dos rios Minho e Lima

4.3 Reescalamento das variáveis

O reescalamento dos valores de SPI e SRI, ou seja, a transformação em valores adimensionais de 0 a 1 foi realizado de acordo com os critérios apresentados no ponto 2.1 deste documento e novamente referidos no ponto 3.2, pelo que de seguida apresenta-se os resultados obtidos para os dois índices.

4.3.1 Índice de Estado SPI

Na bacia hidrográfica do rio Minho, os valores de SPI considerados para o reescalamento dos mesmos foram os apresentados na Tabela 17.

Tabela 17: Valores de SPI considerados no seu reescalamento (bacia do rio Minho)

| IE_SPI | Out | Nov | Dez | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 0,0 | -2,205 | -2,055 | -2,022 | -2,179 | -1,696 | -1,835 | -1,793 | -1,850 | -1,824 | -1,665 | -1,901 | -2,033 |
| 0,3 | -1,281 | -1,281 | -1,281 | -1,281 | -1,281 | -1,281 | -1,281 | -1,281 | -1,281 | -1,281 | -1,281 | -1,281 |
| 0,5 | -0,036 | 0,062 | 0,215 | 0,300 | 0,221 | 0,090 | 0,119 | -0,008 | -0,026 | -0,025 | 0,012 | 0,014 |
| 1,0 | 3,428 | 2,954 | 1,887 | 2,481 | 2,499 | 3,260 | 2,979 | 3,147 | 3,144 | 3,047 | 3,045 | 3,083 |

Tal como referido anteriormente no ponto 2.1 deste documento, o reescalamento é realizado tendo em consideração a probabilidade acumulada de ocorrência associada a cada valor de SPI e não tendo em conta o valor numérico do SPI. Assim, aos valores da Tabela 17 correspondem as probabilidades acumuladas de ocorrência presentes na Tabela 18.

Tabela 18: Probabilidade acumulada de ocorrência associada aos valores de SRI considerados no processo de reescalamento (bacia do rio Minho).

| IE_SPI | Out | Nov | Dez | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0,0 | 0,014 | 0,020 | 0,022 | 0,015 | 0,024 | 0,033 | 0,037 | 0,032 | 0,034 | 0,048 | 0,029 | 0,021 |
| 0,3 | 0,100 | 0,100 | 0,100 | 0,100 | 0,100 | 0,100 | 0,100 | 0,100 | 0,100 | 0,100 | 0,100 | 0,100 |
| 0,5 | 0,486 | 0,525 | 0,585 | 0,618 | 0,587 | 0,536 | 0,547 | 0,497 | 0,489 | 0,490 | 0,505 | 0,506 |
| 1,0 | 1,000 | 0,998 | 0,970 | 0,993 | 0,994 | 0,999 | 0,999 | 0,999 | 0,999 | 0,999 | 0,999 | 0,999 |

Assim, tendo em consideração os valores de SPI e a respetiva probabilidade acumulada de ocorrência dos mesmos, efetuou-se o reescalamento e obteve-se o índice de Estado SPI, estando, para o período de outubro de 1980 a setembro de 2017 a correspondente evolução mensal do mesmo presente na Figura 27 os respetivos valores mensais na Tabela 19.

Indicadores de Seca Prolongada na parte portuguesa das bacias hidrográficas dos rios Minho e Lima

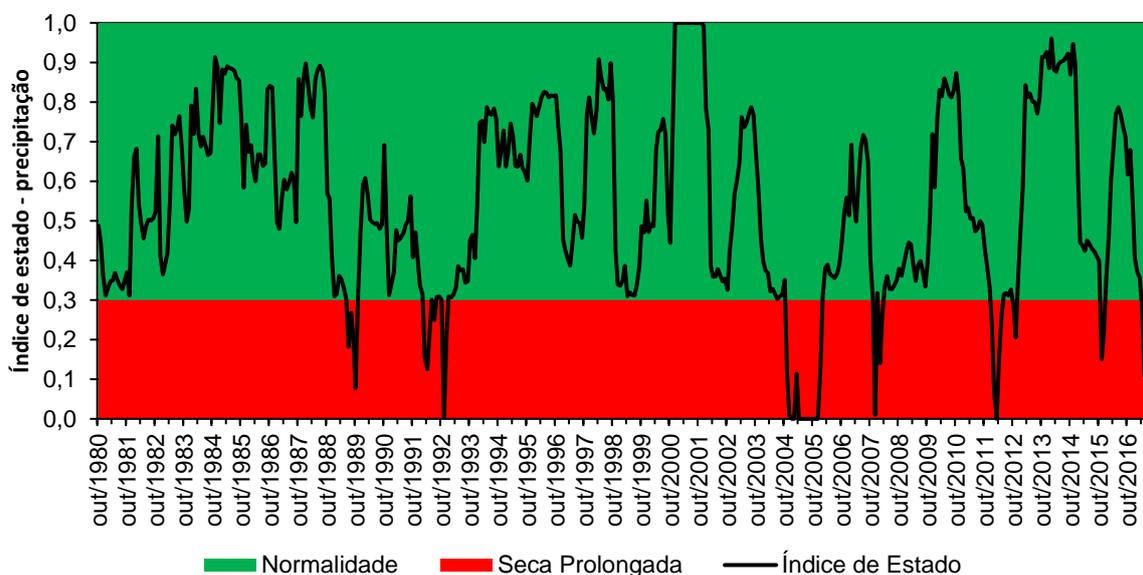


Figura 27: Evolução temporal do índice de Estado SPI na parte portuguesa da bacia Hidrográfica do Rio Minho.

Indicadores de Seca Prolongada na parte portuguesa das bacias hidrográficas dos rios Minho e Lima

Tabela 19: Evolução mensal do Índice de Estado SPI na parte portuguesa da bacia Hidrográfica do rio Minho.

| Ano Hidrológico | Out | Nov | Dez | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1980/1981 | 0,488 | 0,445 | 0,363 | 0,312 | 0,329 | 0,347 | 0,349 | 0,369 | 0,349 | 0,337 | 0,327 | 0,349 |
| 1981/1982 | 0,371 | 0,312 | 0,541 | 0,664 | 0,682 | 0,543 | 0,490 | 0,456 | 0,488 | 0,503 | 0,501 | 0,506 |
| 1982/1983 | 0,523 | 0,714 | 0,412 | 0,365 | 0,390 | 0,419 | 0,551 | 0,741 | 0,718 | 0,734 | 0,764 | 0,681 |
| 1983/1984 | 0,581 | 0,499 | 0,530 | 0,791 | 0,720 | 0,833 | 0,719 | 0,688 | 0,713 | 0,689 | 0,666 | 0,671 |
| 1984/1985 | 0,792 | 0,913 | 0,888 | 0,747 | 0,882 | 0,872 | 0,890 | 0,886 | 0,884 | 0,879 | 0,861 | 0,854 |
| 1985/1986 | 0,757 | 0,584 | 0,743 | 0,674 | 0,691 | 0,631 | 0,600 | 0,668 | 0,667 | 0,639 | 0,644 | 0,832 |
| 1986/1987 | 0,841 | 0,837 | 0,647 | 0,496 | 0,480 | 0,559 | 0,604 | 0,579 | 0,595 | 0,622 | 0,603 | 0,497 |
| 1987/1988 | 0,858 | 0,765 | 0,860 | 0,897 | 0,848 | 0,787 | 0,761 | 0,858 | 0,882 | 0,892 | 0,878 | 0,827 |
| 1988/1989 | 0,568 | 0,556 | 0,411 | 0,309 | 0,315 | 0,361 | 0,352 | 0,332 | 0,303 | 0,182 | 0,268 | 0,200 |
| 1989/1990 | 0,078 | 0,319 | 0,467 | 0,592 | 0,608 | 0,563 | 0,503 | 0,496 | 0,492 | 0,494 | 0,480 | 0,491 |
| 1990/1991 | 0,692 | 0,467 | 0,312 | 0,343 | 0,370 | 0,477 | 0,451 | 0,458 | 0,469 | 0,492 | 0,500 | 0,562 |
| 1991/1992 | 0,408 | 0,471 | 0,404 | 0,337 | 0,315 | 0,155 | 0,126 | 0,214 | 0,301 | 0,249 | 0,307 | 0,309 |
| 1992/1993 | 0,301 | 0,006 | 0,193 | 0,309 | 0,306 | 0,314 | 0,332 | 0,385 | 0,375 | 0,378 | 0,344 | 0,347 |
| 1993/1994 | 0,451 | 0,464 | 0,406 | 0,540 | 0,748 | 0,753 | 0,699 | 0,787 | 0,771 | 0,767 | 0,784 | 0,758 |
| 1994/1995 | 0,638 | 0,677 | 0,728 | 0,637 | 0,672 | 0,746 | 0,714 | 0,639 | 0,637 | 0,667 | 0,633 | 0,624 |
| 1995/1996 | 0,602 | 0,703 | 0,796 | 0,783 | 0,765 | 0,789 | 0,813 | 0,825 | 0,824 | 0,812 | 0,817 | 0,815 |
| 1996/1997 | 0,817 | 0,738 | 0,675 | 0,453 | 0,425 | 0,402 | 0,387 | 0,446 | 0,515 | 0,498 | 0,494 | 0,457 |
| 1997/1998 | 0,542 | 0,772 | 0,812 | 0,759 | 0,721 | 0,780 | 0,908 | 0,865 | 0,832 | 0,834 | 0,807 | 0,898 |
| 1998/1999 | 0,802 | 0,427 | 0,339 | 0,337 | 0,348 | 0,386 | 0,309 | 0,319 | 0,312 | 0,311 | 0,337 | 0,385 |
| 1999/2000 | 0,487 | 0,471 | 0,551 | 0,472 | 0,492 | 0,486 | 0,678 | 0,725 | 0,729 | 0,757 | 0,719 | 0,519 |
| 2000/2001 | 0,445 | 0,742 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 |
| 2001/2002 | 1,000 | 1,000 | 0,992 | 0,784 | 0,730 | 0,387 | 0,359 | 0,360 | 0,378 | 0,360 | 0,347 | 0,354 |
| 2002/2003 | 0,326 | 0,425 | 0,490 | 0,568 | 0,605 | 0,646 | 0,762 | 0,737 | 0,747 | 0,773 | 0,787 | 0,767 |
| 2003/2004 | 0,664 | 0,580 | 0,454 | 0,398 | 0,375 | 0,368 | 0,322 | 0,328 | 0,314 | 0,303 | 0,310 | 0,313 |
| 2004/2005 | 0,351 | 0,118 | 0,009 | 0,000 | 0,000 | 0,113 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 2005/2006 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,133 | 0,309 | 0,382 | 0,389 | 0,366 | 0,361 | 0,355 | 0,367 | 0,391 |
| 2006/2007 | 0,443 | 0,520 | 0,559 | 0,514 | 0,693 | 0,552 | 0,499 | 0,597 | 0,687 | 0,717 | 0,705 | 0,648 |
| 2007/2008 | 0,403 | 0,304 | 0,010 | 0,318 | 0,141 | 0,259 | 0,336 | 0,361 | 0,328 | 0,328 | 0,336 | 0,350 |
| 2008/2009 | 0,379 | 0,361 | 0,390 | 0,419 | 0,445 | 0,441 | 0,386 | 0,348 | 0,387 | 0,399 | 0,372 | 0,334 |
| 2009/2010 | 0,396 | 0,503 | 0,719 | 0,585 | 0,759 | 0,830 | 0,815 | 0,860 | 0,843 | 0,818 | 0,812 | 0,829 |
| 2010/2011 | 0,874 | 0,819 | 0,657 | 0,632 | 0,524 | 0,533 | 0,506 | 0,507 | 0,473 | 0,481 | 0,499 | 0,491 |
| 2011/2012 | 0,427 | 0,385 | 0,332 | 0,232 | 0,065 | 0,000 | 0,151 | 0,260 | 0,314 | 0,318 | 0,312 | 0,326 |
| 2012/2013 | 0,286 | 0,205 | 0,349 | 0,479 | 0,586 | 0,843 | 0,813 | 0,821 | 0,802 | 0,800 | 0,771 | 0,809 |
| 2013/2014 | 0,914 | 0,914 | 0,927 | 0,886 | 0,960 | 0,882 | 0,877 | 0,896 | 0,902 | 0,904 | 0,914 | 0,922 |
| 2014/2015 | 0,869 | 0,947 | 0,897 | 0,626 | 0,446 | 0,439 | 0,424 | 0,451 | 0,440 | 0,429 | 0,424 | 0,410 |
| 2015/2016 | 0,400 | 0,150 | 0,220 | 0,364 | 0,459 | 0,603 | 0,687 | 0,769 | 0,787 | 0,769 | 0,740 | 0,712 |
| 2016/2017 | 0,617 | 0,679 | 0,554 | 0,406 | 0,370 | 0,357 | 0,279 | 0,107 | 0,115 | 0,155 | 0,194 | 0,089 |

4.3.2 Índice de Estado SRI

Os valores de SRI considerados para o reescalonamento para a bacia hidrográfica do rio Minho foram os presentes na Tabela 20, estando na Tabela 21 a respetiva probabilidade acumulada de ocorrência dos mesmos.

Indicadores de Seca Prolongada na parte portuguesa das bacias hidrográficas dos rios Minho e Lima

Tabela 20: Valores de SRI considerados no seu reescalonamento (bacia do rio Minho)

| IE_SRI | Out | Nov | Dez | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 0,0 | -1,709 | -1,530 | -1,493 | -1,521 | -1,569 | -1,414 | -1,406 | -1,396 | -1,394 | -1,534 | -1,513 | -1,571 |
| 0,3 | -1.281 | -1.281 | -1.281 | -1.281 | -1.281 | -1.281 | -1.281 | -1.281 | -1.281 | -1.281 | -1.281 | -1.281 |
| 0,5 | 0,077 | 0,091 | -0,023 | 0,028 | 0,086 | -0,062 | -0,055 | -0,044 | 0,021 | 0,033 | 0,028 | -0,033 |
| 1,0 | 3,048 | 2,861 | 2,036 | 2,619 | 2,798 | 3,159 | 3,081 | 3,063 | 3,059 | 3,021 | 3,006 | 3,029 |

Tabela 21: Probabilidade acumulada de ocorrência associada aos valores de SRI considerados no processo de reescalonamento (bacia do rio Minho).

| IE_SRI | Out | Nov | Dez | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0,0 | 0,044 | 0,063 | 0,068 | 0,064 | 0,058 | 0,079 | 0,080 | 0,081 | 0,082 | 0,063 | 0,065 | 0,058 |
| 0,3 | 0,100 | 0,100 | 0,100 | 0,100 | 0,100 | 0,100 | 0,100 | 0,100 | 0,100 | 0,100 | 0,100 | 0,100 |
| 0,5 | 0,531 | 0,536 | 0,491 | 0,511 | 0,534 | 0,475 | 0,478 | 0,482 | 0,508 | 0,513 | 0,511 | 0,487 |
| 1,0 | 0,999 | 0,998 | 0,979 | 0,996 | 0,997 | 0,999 | 0,999 | 0,999 | 0,999 | 0,999 | 0,999 | 0,999 |

Tendo em consideração a probabilidade de ocorrência dos valores de SRI presentes na Tabela 20 (Tabela 21) efetuou-se o processo de reescalonamento, estando a correspondente evolução mensal do Índice de Estado SRI, bem como os respetivos valores mensais, relativos ao período 01/10/1980 – 30/09/2017, apresentados na Figura 28 e na Tabela 22, respetivamente.

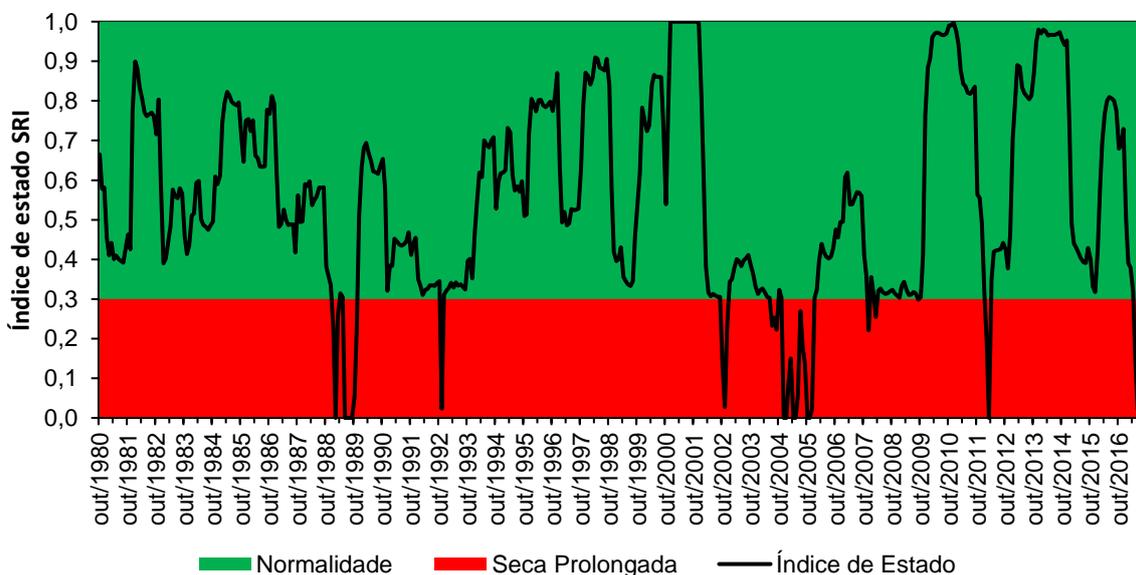


Figura 28: Evolução temporal do Índice de Estado SRI na parte portuguesa da Bacia Hidrográfica do rio Minho

Indicadores de Seca Prolongada na parte portuguesa das bacias hidrográficas dos rios Minho e Lima

Tabela 22: Evolução mensal do índice de Estado SRI na parte portuguesa da bacia Hidrográfica do rio Minho.

| Ano Hidrológico | Out | Nov | Dez | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1980/1981 | 0,665 | 0,578 | 0,581 | 0,453 | 0,410 | 0,442 | 0,400 | 0,409 | 0,401 | 0,396 | 0,392 | 0,426 |
| 1981/1982 | 0,463 | 0,426 | 0,776 | 0,899 | 0,881 | 0,833 | 0,804 | 0,771 | 0,762 | 0,766 | 0,770 | 0,762 |
| 1982/1983 | 0,716 | 0,804 | 0,588 | 0,390 | 0,401 | 0,440 | 0,485 | 0,576 | 0,559 | 0,554 | 0,579 | 0,566 |
| 1983/1984 | 0,458 | 0,413 | 0,436 | 0,511 | 0,516 | 0,593 | 0,598 | 0,501 | 0,486 | 0,482 | 0,475 | 0,485 |
| 1984/1985 | 0,496 | 0,609 | 0,590 | 0,612 | 0,746 | 0,795 | 0,823 | 0,814 | 0,798 | 0,792 | 0,789 | 0,796 |
| 1985/1986 | 0,712 | 0,647 | 0,749 | 0,754 | 0,724 | 0,751 | 0,662 | 0,656 | 0,634 | 0,633 | 0,635 | 0,778 |
| 1986/1987 | 0,767 | 0,813 | 0,793 | 0,615 | 0,482 | 0,489 | 0,525 | 0,499 | 0,487 | 0,489 | 0,488 | 0,417 |
| 1987/1988 | 0,562 | 0,494 | 0,496 | 0,590 | 0,585 | 0,597 | 0,537 | 0,550 | 0,558 | 0,581 | 0,581 | 0,582 |
| 1988/1989 | 0,382 | 0,358 | 0,336 | 0,225 | 0,000 | 0,258 | 0,314 | 0,305 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 1989/1990 | 0,055 | 0,233 | 0,508 | 0,633 | 0,682 | 0,694 | 0,667 | 0,649 | 0,622 | 0,620 | 0,616 | 0,636 |
| 1990/1991 | 0,653 | 0,578 | 0,321 | 0,385 | 0,384 | 0,452 | 0,445 | 0,438 | 0,435 | 0,438 | 0,446 | 0,469 |
| 1991/1992 | 0,411 | 0,440 | 0,455 | 0,350 | 0,333 | 0,311 | 0,324 | 0,326 | 0,334 | 0,335 | 0,333 | 0,340 |
| 1992/1993 | 0,345 | 0,023 | 0,311 | 0,322 | 0,328 | 0,341 | 0,329 | 0,342 | 0,334 | 0,337 | 0,331 | 0,324 |
| 1993/1994 | 0,396 | 0,401 | 0,352 | 0,470 | 0,550 | 0,619 | 0,608 | 0,700 | 0,690 | 0,682 | 0,700 | 0,708 |
| 1994/1995 | 0,528 | 0,594 | 0,618 | 0,619 | 0,626 | 0,732 | 0,721 | 0,614 | 0,574 | 0,585 | 0,571 | 0,597 |
| 1995/1996 | 0,509 | 0,513 | 0,716 | 0,805 | 0,792 | 0,774 | 0,802 | 0,803 | 0,789 | 0,784 | 0,790 | 0,798 |
| 1996/1997 | 0,774 | 0,813 | 0,870 | 0,631 | 0,493 | 0,520 | 0,486 | 0,491 | 0,527 | 0,524 | 0,525 | 0,528 |
| 1997/1998 | 0,630 | 0,789 | 0,871 | 0,862 | 0,841 | 0,858 | 0,910 | 0,907 | 0,884 | 0,880 | 0,877 | 0,906 |
| 1998/1999 | 0,841 | 0,582 | 0,419 | 0,396 | 0,401 | 0,430 | 0,355 | 0,345 | 0,337 | 0,333 | 0,345 | 0,460 |
| 1999/2000 | 0,545 | 0,619 | 0,783 | 0,749 | 0,724 | 0,739 | 0,839 | 0,865 | 0,861 | 0,861 | 0,860 | 0,736 |
| 2000/2001 | 0,539 | 0,777 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 |
| 2001/2002 | 1,000 | 1,000 | 0,996 | 0,816 | 0,610 | 0,384 | 0,316 | 0,307 | 0,313 | 0,309 | 0,306 | 0,306 |
| 2002/2003 | 0,127 | 0,028 | 0,228 | 0,344 | 0,350 | 0,377 | 0,401 | 0,396 | 0,383 | 0,398 | 0,403 | 0,411 |
| 2003/2004 | 0,384 | 0,362 | 0,333 | 0,313 | 0,323 | 0,326 | 0,316 | 0,305 | 0,303 | 0,233 | 0,254 | 0,223 |
| 2004/2005 | 0,323 | 0,304 | 0,000 | 0,000 | 0,088 | 0,150 | 0,000 | 0,000 | 0,055 | 0,269 | 0,179 | 0,136 |
| 2005/2006 | 0,000 | 0,000 | 0,022 | 0,303 | 0,323 | 0,397 | 0,439 | 0,419 | 0,407 | 0,402 | 0,407 | 0,428 |
| 2006/2007 | 0,476 | 0,456 | 0,494 | 0,495 | 0,608 | 0,619 | 0,538 | 0,539 | 0,554 | 0,570 | 0,568 | 0,560 |
| 2007/2008 | 0,413 | 0,359 | 0,221 | 0,355 | 0,314 | 0,255 | 0,321 | 0,326 | 0,317 | 0,313 | 0,315 | 0,319 |
| 2008/2009 | 0,323 | 0,314 | 0,309 | 0,303 | 0,334 | 0,344 | 0,323 | 0,310 | 0,312 | 0,318 | 0,314 | 0,298 |
| 2009/2010 | 0,305 | 0,412 | 0,764 | 0,884 | 0,907 | 0,962 | 0,970 | 0,972 | 0,970 | 0,967 | 0,966 | 0,970 |
| 2010/2011 | 0,990 | 0,990 | 0,999 | 0,976 | 0,944 | 0,878 | 0,843 | 0,837 | 0,820 | 0,818 | 0,826 | 0,836 |
| 2011/2012 | 0,563 | 0,555 | 0,491 | 0,310 | 0,193 | 0,000 | 0,348 | 0,420 | 0,423 | 0,424 | 0,426 | 0,442 |
| 2012/2013 | 0,425 | 0,377 | 0,462 | 0,706 | 0,794 | 0,890 | 0,886 | 0,834 | 0,819 | 0,812 | 0,804 | 0,813 |
| 2013/2014 | 0,871 | 0,949 | 0,980 | 0,970 | 0,980 | 0,976 | 0,965 | 0,967 | 0,966 | 0,967 | 0,969 | 0,973 |
| 2014/2015 | 0,954 | 0,941 | 0,952 | 0,740 | 0,491 | 0,440 | 0,428 | 0,415 | 0,402 | 0,392 | 0,391 | 0,428 |
| 2015/2016 | 0,399 | 0,332 | 0,317 | 0,423 | 0,576 | 0,696 | 0,769 | 0,800 | 0,810 | 0,806 | 0,800 | 0,776 |
| 2016/2017 | 0,679 | 0,693 | 0,730 | 0,503 | 0,390 | 0,379 | 0,319 | 0,144 | 0,021 | 0,276 | 0,273 | 0,161 |

4.4 Indicador de Seca Prolongada

4.4.1 Parte Portuguesa da Bacia Hidrográfica do rio Minho

Definidos os Índices de Estado SPI e SRI, os mesmos foram agregados, com um peso de 60 % e 40%, respetivamente, similarmente ao considerado no PEASAES_DMHS, dando origem a um único indicador de seca prolongada, denominado de Índice de Estado de Seca Prolongada, para a parte portuguesa da bacia hidrográfica do rio Minho (Figura 29 e Tabela 23).

Indicadores de Seca Prolongada na parte portuguesa das bacias hidrográficas dos rios Minho e Lima

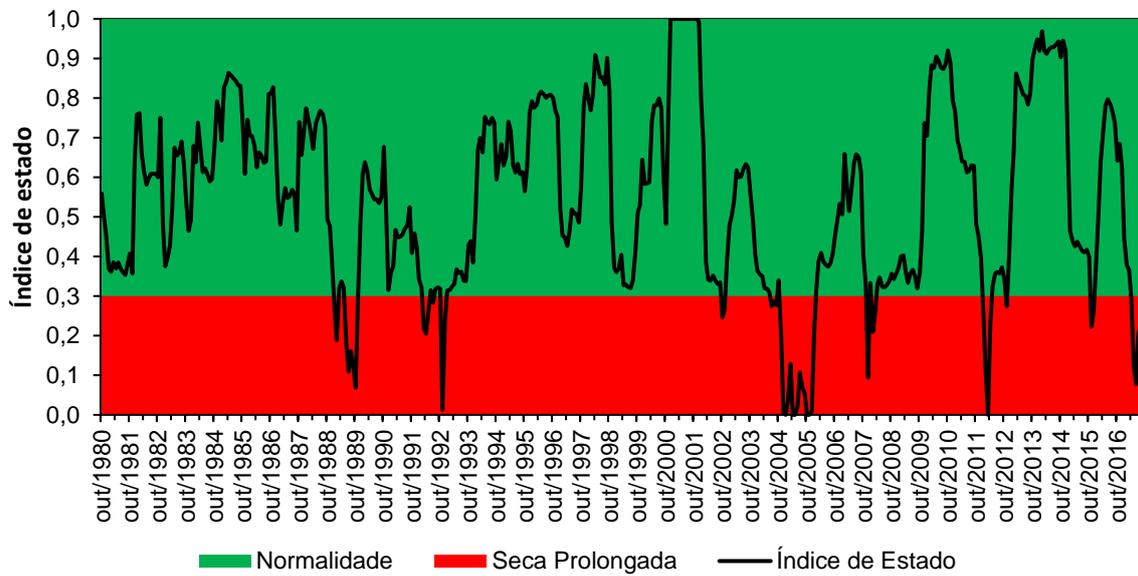


Figura 29: Evolução temporal do Índice de Estado de Seca Prolongada na parte portuguesa da bacia Hidrográfica do rio Minho.

Indicadores de Seca Prolongada na parte portuguesa das bacias hidrográficas dos rios Minho e Lima

Tabela 23: Evolução mensal do Índice de Estado de Seca Prolongada na parte portuguesa da bacia Hidrográfica do rio Minho.

| Ano Hidrológico | Out | Nov | Dez | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1980/1981 | 0,559 | 0,498 | 0,450 | 0,368 | 0,361 | 0,385 | 0,370 | 0,385 | 0,370 | 0,361 | 0,353 | 0,380 |
| 1981/1982 | 0,407 | 0,357 | 0,635 | 0,758 | 0,762 | 0,659 | 0,616 | 0,582 | 0,598 | 0,609 | 0,608 | 0,609 |
| 1982/1983 | 0,600 | 0,750 | 0,482 | 0,375 | 0,394 | 0,427 | 0,524 | 0,675 | 0,655 | 0,662 | 0,690 | 0,635 |
| 1983/1984 | 0,532 | 0,465 | 0,492 | 0,679 | 0,638 | 0,737 | 0,671 | 0,613 | 0,622 | 0,606 | 0,589 | 0,596 |
| 1984/1985 | 0,673 | 0,792 | 0,769 | 0,693 | 0,828 | 0,841 | 0,863 | 0,857 | 0,850 | 0,844 | 0,832 | 0,831 |
| 1985/1986 | 0,739 | 0,609 | 0,745 | 0,706 | 0,704 | 0,679 | 0,625 | 0,663 | 0,654 | 0,637 | 0,641 | 0,810 |
| 1986/1987 | 0,812 | 0,827 | 0,705 | 0,544 | 0,481 | 0,531 | 0,572 | 0,547 | 0,552 | 0,569 | 0,557 | 0,465 |
| 1987/1988 | 0,740 | 0,656 | 0,714 | 0,774 | 0,743 | 0,711 | 0,672 | 0,735 | 0,752 | 0,768 | 0,759 | 0,729 |
| 1988/1989 | 0,494 | 0,477 | 0,381 | 0,276 | 0,189 | 0,320 | 0,337 | 0,321 | 0,182 | 0,109 | 0,161 | 0,120 |
| 1989/1990 | 0,069 | 0,285 | 0,483 | 0,608 | 0,638 | 0,616 | 0,569 | 0,557 | 0,544 | 0,545 | 0,534 | 0,549 |
| 1990/1991 | 0,676 | 0,511 | 0,316 | 0,359 | 0,375 | 0,467 | 0,448 | 0,450 | 0,455 | 0,470 | 0,478 | 0,525 |
| 1991/1992 | 0,409 | 0,458 | 0,424 | 0,342 | 0,322 | 0,217 | 0,205 | 0,259 | 0,314 | 0,283 | 0,317 | 0,322 |
| 1992/1993 | 0,319 | 0,013 | 0,240 | 0,314 | 0,315 | 0,324 | 0,331 | 0,368 | 0,358 | 0,361 | 0,338 | 0,338 |
| 1993/1994 | 0,429 | 0,439 | 0,384 | 0,512 | 0,669 | 0,699 | 0,663 | 0,752 | 0,739 | 0,733 | 0,750 | 0,738 |
| 1994/1995 | 0,594 | 0,644 | 0,684 | 0,630 | 0,653 | 0,740 | 0,717 | 0,629 | 0,612 | 0,634 | 0,608 | 0,613 |
| 1995/1996 | 0,565 | 0,627 | 0,764 | 0,792 | 0,775 | 0,783 | 0,808 | 0,816 | 0,810 | 0,801 | 0,806 | 0,808 |
| 1996/1997 | 0,800 | 0,768 | 0,753 | 0,524 | 0,452 | 0,449 | 0,427 | 0,464 | 0,520 | 0,509 | 0,507 | 0,486 |
| 1997/1998 | 0,577 | 0,779 | 0,836 | 0,801 | 0,769 | 0,811 | 0,909 | 0,882 | 0,853 | 0,853 | 0,835 | 0,901 |
| 1998/1999 | 0,817 | 0,489 | 0,371 | 0,360 | 0,369 | 0,404 | 0,328 | 0,329 | 0,322 | 0,320 | 0,340 | 0,415 |
| 1999/2000 | 0,510 | 0,530 | 0,644 | 0,583 | 0,585 | 0,587 | 0,743 | 0,781 | 0,782 | 0,799 | 0,775 | 0,606 |
| 2000/2001 | 0,482 | 0,756 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 |
| 2001/2002 | 1,000 | 1,000 | 0,994 | 0,797 | 0,682 | 0,385 | 0,342 | 0,339 | 0,352 | 0,340 | 0,330 | 0,335 |
| 2002/2003 | 0,246 | 0,266 | 0,385 | 0,478 | 0,503 | 0,538 | 0,617 | 0,600 | 0,602 | 0,623 | 0,633 | 0,625 |
| 2003/2004 | 0,552 | 0,493 | 0,405 | 0,364 | 0,354 | 0,351 | 0,319 | 0,319 | 0,310 | 0,275 | 0,287 | 0,277 |
| 2004/2005 | 0,340 | 0,192 | 0,005 | 0,000 | 0,035 | 0,128 | 0,000 | 0,000 | 0,022 | 0,108 | 0,072 | 0,055 |
| 2005/2006 | 0,000 | 0,000 | 0,009 | 0,201 | 0,315 | 0,388 | 0,409 | 0,387 | 0,379 | 0,374 | 0,383 | 0,406 |
| 2006/2007 | 0,456 | 0,494 | 0,533 | 0,506 | 0,659 | 0,579 | 0,515 | 0,574 | 0,634 | 0,658 | 0,650 | 0,613 |
| 2007/2008 | 0,407 | 0,326 | 0,094 | 0,333 | 0,210 | 0,257 | 0,330 | 0,347 | 0,324 | 0,322 | 0,328 | 0,338 |
| 2008/2009 | 0,357 | 0,343 | 0,358 | 0,373 | 0,400 | 0,402 | 0,361 | 0,333 | 0,357 | 0,366 | 0,349 | 0,320 |
| 2009/2010 | 0,360 | 0,467 | 0,737 | 0,704 | 0,818 | 0,883 | 0,877 | 0,905 | 0,894 | 0,878 | 0,873 | 0,886 |
| 2010/2011 | 0,920 | 0,888 | 0,793 | 0,769 | 0,692 | 0,671 | 0,641 | 0,639 | 0,612 | 0,616 | 0,630 | 0,629 |
| 2011/2012 | 0,482 | 0,453 | 0,396 | 0,263 | 0,116 | 0,000 | 0,230 | 0,324 | 0,357 | 0,361 | 0,357 | 0,373 |
| 2012/2013 | 0,342 | 0,274 | 0,394 | 0,570 | 0,669 | 0,862 | 0,842 | 0,826 | 0,809 | 0,805 | 0,784 | 0,811 |
| 2013/2014 | 0,897 | 0,928 | 0,948 | 0,920 | 0,968 | 0,919 | 0,912 | 0,924 | 0,928 | 0,929 | 0,936 | 0,943 |
| 2014/2015 | 0,903 | 0,945 | 0,919 | 0,672 | 0,464 | 0,439 | 0,426 | 0,437 | 0,425 | 0,414 | 0,411 | 0,417 |
| 2015/2016 | 0,399 | 0,223 | 0,259 | 0,388 | 0,506 | 0,640 | 0,720 | 0,782 | 0,796 | 0,784 | 0,764 | 0,737 |
| 2016/2017 | 0,642 | 0,684 | 0,624 | 0,445 | 0,378 | 0,366 | 0,295 | 0,122 | 0,078 | 0,203 | 0,226 | 0,118 |

Através da Figura 29 e da Tabela 23 verifica-se que, entre outubro de 1980 e setembro de 2017 existiram 50 meses em que foi atingido o estado de Seca Prolongada na parte portuguesa da Bacia Hidrográfica do rio Minho, tendo sido os mesmos divididos em 14 eventos, conforme apresentado na Tabela 24.

Indicadores de Seca Prolongada na parte portuguesa das bacias hidrográficas dos rios Minho e Lima

Tabela 24: Eventos de Seca Prolongada verificados na parte portuguesa da bacia Hidrográfica do rio Minho, entre outubro de 1980 e setembro de 2017.

| Evento | Início | Fim | Meses em Seca Prolongada |
|--------------|----------|----------|--------------------------|
| 1 | jan/1989 | fev/1989 | 2 |
| 2 | jun/1989 | nov/1989 | 6 |
| 3 | mar/1992 | mai/1992 | 3 |
| 4 | jul/1992 | jul/1992 | 1 |
| 5 | nov/1992 | dez/1992 | 2 |
| 6 | out/2002 | nov/2002 | 2 |
| 7 | jul/2004 | set/2004 | 3 |
| 8 | nov/2004 | jan/2006 | 15 |
| 9 | dez/2007 | dez/2007 | 1 |
| 10 | fev/2008 | mar/2008 | 2 |
| 11 | jan/2012 | abr/2012 | 4 |
| 12 | nov/2012 | nov/2012 | 1 |
| 13 | nov/2015 | dez/2015 | 2 |
| 14 | abr/2017 | set/2017 | 6 |
| Total | | | 50 |

Na parte portuguesa da bacia hidrográfica do rio Minho, entre outubro de 1980 e setembro de 2017, o evento de seca prolongada mais extenso e com maior intensidade/severidade ocorreu entre novembro de 2004 e janeiro de 2006, tendo o mesmo durado 15 meses.

Em termos de intensidade destacam-se também os eventos de curta duração (2 e 4 meses, respetivamente) ocorridos entre novembro e dezembro de 1992 e entre janeiro e abril de 2012. Também de destacar os eventos ocorridos entre junho e novembro de 1989, entre janeiro e abril de 2012 e entre abril e setembro de 2017, tendo sido eventos marcados por uma duração mais considerável (4 a 6 meses).

Em termos gerais, poder-se-á dizer que, excetuando o longo período (15 meses) de seca severa ocorrido entre 2004/2006, a parte portuguesa da bacia do rio Minho é marcada pela ocorrência de seca de relativa curta duração (1 a 6 meses).

4.4.2 Comparação entre a parte portuguesa e espanhola da bacia

Determinado o Índice de Estado de Seca Prolongada na parte portuguesa da bacia do rio Minho, procedeu-se à sua comparação com o Índice de Estado de Seca prolongada na parte espanhola da bacia, nomeadamente com a unidade de exploração mais próxima e adjacente à mesma, a UTS 02 Miño-Bajo, sendo esta comparação apresentada na Figura 30.

Indicadores de Seca Prolongada na parte portuguesa das bacias hidrográficas dos rios Minho e Lima

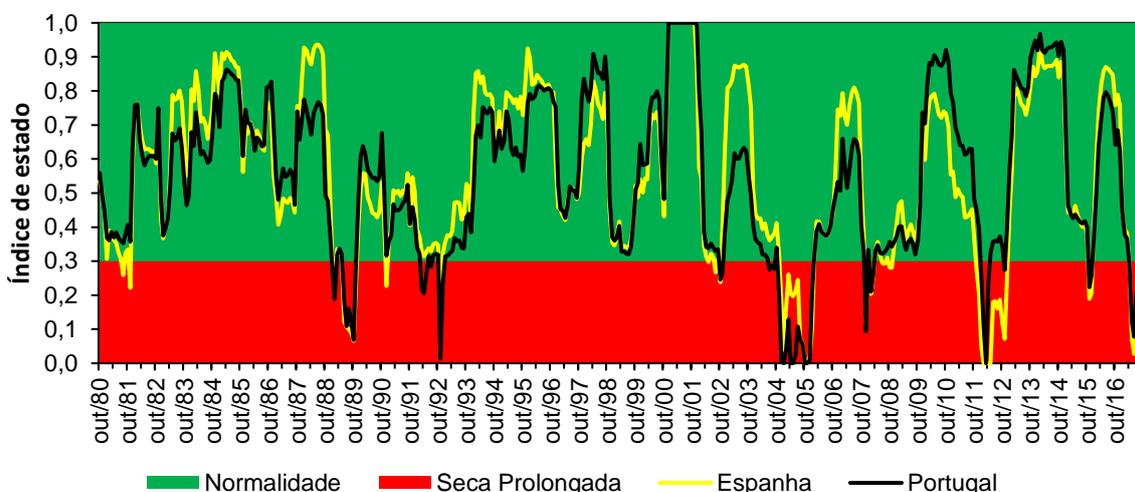


Figura 30: Comparação entre a evolução dos indicadores de Seca prolongada entre a parte portuguesa e espanhola (UTS 02 Miño-Bajo) da bacia do rio Minho.

Na Tabela 25 encontram-se referenciados os meses em que se atingiu o estado de Seca Prolongada na UTS 02 Miño-Bajo.

Tabela 25: Eventos de Seca Prolongada verificados na parte espanhola da bacia Hidrográfica do rio Minho (UTS 02 Miño-Bajo), entre 10/1980 – 09/2017.

| Evento | Início | Fim | Meses em Seca Prolongada |
|--------------|--------|--------|--------------------------|
| 1 | ago/81 | ago/81 | 1 |
| 2 | nov/81 | nov/81 | 1 |
| 3 | jan/89 | fev/89 | 2 |
| 4 | jun/89 | nov/89 | 6 |
| 5 | dez/90 | dez/90 | 1 |
| 6 | nov/92 | nov/92 | 1 |
| 7 | mai/02 | mai/02 | 1 |
| 8 | ago/02 | ago/02 | 1 |
| 9 | out/02 | out/02 | 1 |
| 10 | dez/04 | jan/06 | 14 |
| 11 | dez/07 | dez/07 | 1 |
| 12 | fev/08 | mar/08 | 2 |
| 13 | jul/08 | ago/08 | 2 |
| 14 | out/08 | nov/08 | 2 |
| 15 | nov/11 | dez/12 | 14 |
| 16 | nov/15 | dez/15 | 2 |
| 17 | abr/17 | set/17 | 6 |
| Total | | | 58 |

Através da Figura 30 e da comparação das Tabelas 24 e 25 verifica-se que na parte espanhola da bacia existiram mais oito meses de seca prolongada do que na parte portuguesa da bacia hidrográfica do Minho.

Indicadores de Seca Prolongada na parte portuguesa das bacias hidrográficas dos rios Minho e Lima



Na parte portuguesa, o evento de seca com maior duração e mais intenso, ocorreu entre o final de 2004 e o início de 2006. Por sua vez, na parte espanhola existiram dois eventos de longa duração (14 meses em ambos) com intensidades semelhantes, tendo os mesmos se verificado nos períodos 2004 – 2006 (coincidente com o ocorrido na parte portuguesa) e 2011 – 2012.

Nas duas bacias, para além dos eventos mencionados acima, existiram eventos com intensidade considerável na bacia que foram comuns às partes portuguesa e espanhola, nomeadamente os verificados entre junho e novembro de 1989 e mais recentemente entre janeiro e abril de 2012 e entre abril e setembro de 2017. Para além de terem sido comuns nas duas bacias, a intensidade verificada em cada uma das partes foi semelhante.

Em geral, apesar de intensidade e durações diferentes, existe uma concordância entre os períodos de seca prolongada na parte portuguesa e espanhola.

5 Conclusão

Através da aplicação da metodologia de cálculo dos Indicadores de Seca Prolongada, presente no *Plan Especial de Actuación en Situaciones de Alerta y Eventual Sequía de la Demarcación Hidrográfica del Miño-Sil* (versão em vigor), verificou-se que, tanto na parte portuguesa da bacia do rio Lima, como na parte portuguesa da bacia do rio Minho existiram 50 meses em que foi atingido o estado de Seca Prolongada entre 10/1980 – 09/2017.

Na parte portuguesa das duas bacias, o evento de Seca Prolongada mais extenso e com maior intensidade ocorreu entre o fim de 2004 e o início de 2006. Também de destacar, em cada uma das bacias, os eventos ocorridos entre junho e novembro de 1998, janeiro e abril de 2012, e abril e setembro de 2017, que foram eventos de seca que apresentaram, quer uma intensidade, quer uma duração considerável (4 a 6 meses).

Em termos gerais, excetuando o longo período de seca severa ocorrido entre 2004/2006, a parte portuguesa das bacias hidrográficas dos rios Lima e Minho é marcada pela ocorrência de eventos de Seca Prolongada de relativa curta duração (1 a 6 meses).

Quando comparados os Índices de Estado entre a parte portuguesa e a parte espanhola de cada uma das duas bacias, verificou-se que na parte espanhola de cada uma das bacias, existiram mais episódios de Seca Prolongada do que na parte portuguesa.

Na bacia do rio Lima, na parte espanhola (correspondente à UTS 06 Limia), existiram mais 15 meses de Seca Prolongada do que na parte portuguesa. Nesta, o evento de Seca Prolongada de maior duração foi, tal como na parte portuguesa, verificado no período de 2004 – 2006, tendo durado também 16 meses. Porém, este não foi o evento onde se verificou maior severidade, tendo este ocorrido entre 12/2011 e 12/2012, e apresentado igualmente uma grande duração (13 meses). Também comparando as duas partes da bacia do rio Lima, verifica-se que, apesar da parte portuguesa apresentar um maior, ainda que ligeiro, número de eventos de seca, em Espanha, os eventos apresentaram, em geral, menor duração, resultando assim num menor número de meses em Seca Prolongada.

No que se refere à bacia do rio Minho, na parte espanhola (correspondente à UTS 02 Miño-Bajo) existiram mais 8 meses de Seca Prolongada do que na parte portuguesa.

Indicadores de Seca Prolongada na parte portuguesa das bacias hidrográficas dos rios Minho e Lima



Na parte portuguesa, tal como já mencionado, o evento de Seca Prolongada mais extenso e com maior intensidade ocorreu entre 2004-2006. Por sua vez, na parte espanhola, existiram dois eventos de Seca Prolongada de longa duração (14 meses cada um) e forte intensidade, ocorridos entre 2004-2006 e 2011-2012.

De referir, que, quer para a bacia do Lima, quer para a bacia do Minho, para além dos episódios acima mencionados, verificaram-se episódios com intensidade considerável, que foram comuns às duas partes da bacia, episódios estes verificados entre junho e novembro de 1989 e mais recente episódio entre abril e setembro de 2017.

Em suma, verifica-se que, apesar da situação de Seca Prolongada ser mais frequente na parte espanhola das bacias do que na parte portuguesa das bacias, em cada uma das bacias existe uma concordância geral entre os períodos de Seca Prolongada, sendo que os eventos mais notáveis em termos de intensidade (1989-1990, 2004-2006, 2011-2012 e 2016-2017) afetaram as duas partes de ambas as bacias.

No que respeita ao uso da metodologia de cálculo presente no Plano Espanhol, conclui-se que através do uso de uma metodologia comum, é possível a comparação da situação de Seca Prolongada entre as duas partes da bacia, possibilitando assim uma melhor gestão e uma gestão integrada da situação de Seca Prolongada entre as duas partes da bacia.

Indicadores de Seca Prolongada na parte portuguesa das bacias hidrográficas dos rios Minho e Lima



6 Bibliografía

Belo-Pereira, M., Dutra, E., & Viterbo, P. (2011). Evaluation of global precipitation data sets over the Iberian Peninsula. Em *J. Geophys. Res.* (D20101 ed., Vol. 116). doi:10.1029/2010JD015481

CHMS, C. H.-S. (2018). *Plan Especial de Actuación en Situaciones de Alerta y Eventual Sequía - Parte española de la Demarcación Hidrográfica del Miño- Sil*.

RISC_ML. (2019). *RISC_ML - Prevención de Riesgos de Inundaciones y Sequías en la Cuenca Internacional del Miño-Limia*. Obtido de <http://risc-ml.eu/>

U.S. Army Corps of Engineers. (2018). *Hydrologic Modeling System HEC-HMS User's Manual*. Institute for Water Resources.



www.risc-ml.eu

