



AVALIAÇÃO E ESPACIALIZAÇÃO DO BALANÇO HÍDRICO
E CARACTERIZAÇÃO DA INTERAÇÃO ENTRE AS ÁGUAS
DE SUPERFÍCIE E SUBTERRÂNEAS

RELATÓRIO FINAL

julho 2021



Ficha Técnica

Coordenação	Direção Regional do Ordenamento do Território e dos Recursos Hídricos
Coordenação Técnica	José Virgílio Cruz
Equipa Técnica	Carla Melo Sérgio Costa Eduardo Brito de Azevedo César Andrade Maria da Conceição Rodrigues Francisco Vieira Reis Ana Rita Valente Cláudia Medeiros Cristina Padilha Daniel Silva Filipe Martins Joaquim Barbosa Sérgio Almeida Susana Fernandes
Projeto	HIDROBAL - AVALIAÇÃO E ESPACIALIZAÇÃO DO BALANÇO HÍDRICO E CARACTERIZAÇÃO DA INTERAÇÃO ENTRE AS ÁGUAS DE SUPERFÍCIE E SUBTERRÂNEAS (MITIMAC - Mitigating climate change through innovation in the water cycle using low-carbon technologies – INTERREG V—A MAC 2014-2020 (MAC2/4.1ª/263), inserido na Atividade 2.1.2 – Identificación y análisis de los procesos y etapas en ciclo del agua y sus particularidades en cada región, do Objetivo Específico 1: Conocimiento de características y dificultades existentes dentro de cada región en el ciclo integral del agua)
Descrição do Documento	Relatório Final
N.º de Páginas	104
Versão	Final
Data	setembro 2021

ÍNDICE

1.	Enquadramento.....	1
1.1.	Objetivo.....	1
1.2.	Trabalhos anteriores relevantes.....	2
2.	Generalização espacial dos parâmetros relevantes para o balanço hídrico adaptada a ambientes insulares...4	
2.1	Condicionantes biofísicas à espacialização dos parâmetros.....	5
2.1.1	Orografia	5
2.1.2	Solos	6
2.1.3	Coberto vegetal.....	8
2.2	Balanço hídrico sequencial – Variáveis climatológicas, escoamento e infiltração	10
2.2.1	Precipitação.....	10
2.2.2	A Evapotranspiração	14
2.2.3	Água no solo.....	16
2.2.4	Escoamento superficial e infiltração	16
2.3	Resultados do Balanço Hídrico Sequencial	17
2.4.	Cartografia	33
2.4.1.	Corvo.....	33
2.4.2.	Flores.....	35
2.4.3.	Faial	37
2.4.4.	Pico.....	39
2.4.5.	São Jorge	41
2.4.6.	Graciosa.....	43
2.4.7.	Terceira	45
2.4.8.	São Miguel.....	47
2.4.9.	Santa Maria	49
3.	Interação entre massas de água superficiais e subterrânea	51
4.	Avaliação da recarga aquífera	70
4.1.	Quantificação e distribuição da recarga.....	70
4.2.	Aferição do balanço hídrico na componente subterrânea.....	92
5.	Conclusões	102
6.	Referências bibliográficas	105
	Anexo.....	108

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1_ Aplicações CIELO (Azevedo, 1996).....	4
Figura 2.2_ Mecanismo de Föehn (em Azevedo, 1996).....	6
Figura 2.3_ Exemplo modelo sequencial mensal de balanço de massa $(P+PHt)-(ETr+\Delta AU_s+\Delta AU_m) = Sav$ em que: P = Precipitação atmosférica; PH = Precipitação Horizontal; ETr = Evapotranspiração real; ΔAU_s = variação do armazenamento da água útil do solo; ΔAU_m = variação do armazenamento da água útil na cobertura muscicular (<i>sphagnum</i> spp.); Sav = superavit hídrico. (em M.C. Rodrigues 2002).....	10
Figura 2.4_ Modelo geral do balanço da água atmosférica na unidade de volume de ar em deslocação sobre o território.....	12
Figura 2.5_ Exemplo de Calibração do método FAO_Hargreaves & Samani vs. FAO_Penman-Monteith para o cálculo da Evapotranspiração de Referência (melhor ajustamento) – Comparação com o método de Thornthwaite.....	15
Figura 2.6_ Precipitação – ilha do Corvo (metodologia CIELO – ProAAcXXIs).....	33
Figura 2.7_ Evapotranspiração efetiva – ilha do Corvo (metodologia CIELO – ProAAcXXIs).....	33
Figura 2.8_ Reserva de Água no Solo – ilha do Corvo (metodologia CIELO – ProAAcXXIs).....	34
Figura 2.9_ Déficit hídrico climático – ilha do Corvo (metodologia CIELO – ProAAcXXIs).....	34
Figura 2.10_ Precipitação – ilha das Flores (metodologia CIELO – ProAAcXXIs).....	35
Figura 2.11_ Evapotranspiração efetiva – ilha das Flores (metodologia CIELO – ProAAcXXIs).....	35
Figura 2.12_ Reserva de Água no Solo – ilha das Flores (metodologia CIELO – ProAAcXXIs).....	36
Figura 2.13_ Déficit hídrico climático – ilha das Flores (metodologia CIELO – ProAAcXXIs).....	36
Figura 2.14_ Precipitação – ilha do Faial (metodologia CIELO – ProAAcXXIs).....	37
Figura 2.15_ Evapotranspiração efetiva – ilha do Faial (metodologia CIELO – ProAAcXXIs).....	37
Figura 2.16_ Reserva de Água no Solo – ilha do Faial (metodologia CIELO – ProAAcXXIs).....	38
Figura 2.17_ Déficit hídrico climático – ilha do Faial (metodologia CIELO – ProAAcXXIs).....	38
Figura 2.18_ Precipitação – ilha do Pico (metodologia CIELO – ProAAcXXIs).....	39
Figura 2.19_ Evapotranspiração efetiva – ilha do Pico (metodologia CIELO – ProAAcXXIs).....	39
Figura 2.20_ Reserva de Água no Solo – ilha do Pico (metodologia CIELO – ProAAcXXIs).....	40
Figura 2.21_ Déficit hídrico climático – ilha do Pico (metodologia CIELO – ProAAcXXIs).....	40
Figura 2.22_ Precipitação – ilha de São Jorge (metodologia CIELO – ProAAcXXIs).....	41
Figura 2.23_ Evapotranspiração efetiva – ilha de São Jorge (metodologia CIELO – ProAAcXXIs).....	41
Figura 2.24_ Reserva de Água no Solo – ilha de São Jorge (metodologia CIELO – ProAAcXXIs).....	42
Figura 2.25_ Déficit hídrico climático – ilha de São Jorge (metodologia CIELO – ProAAcXXIs).....	42
Figura 2.26_ Precipitação – ilha Graciosa (metodologia CIELO – ProAAcXXIs).....	43
Figura 2.27_ Evapotranspiração efetiva – ilha Graciosa (metodologia CIELO – ProAAcXXIs).....	43
Figura 2.28_ Reserva de Água no Solo – ilha Graciosa (metodologia CIELO – ProAAcXXIs).....	44
Figura 2.29_ Déficit hídrico climático – ilha Graciosa (metodologia CIELO – ProAAcXXIs).....	44
Figura 2.30_ Precipitação – ilha Terceira (metodologia CIELO – ProAAcXXIs).....	45
Figura 2.31_ Evapotranspiração efetiva – ilha Terceira (metodologia CIELO – ProAAcXXIs).....	45
Figura 2.32_ Reserva de Água no Solo – ilha Terceira (metodologia CIELO – ProAAcXXIs).....	46
Figura 2.33_ Déficit hídrico climático – ilha Terceira (metodologia CIELO – ProAAcXXIs).....	46
Figura 2.34_ Precipitação – ilha de São Miguel (metodologia CIELO – ProAAcXXIs).....	47
Figura 2.35_ Evapotranspiração efetiva – ilha de São Miguel (metodologia CIELO – ProAAcXXIs).....	47
Figura 2.36_ Reserva de Água no Solo – ilha de São Miguel (metodologia CIELO – ProAAcXXIs).....	48
Figura 2.37_ Déficit hídrico climático – ilha de São Miguel (metodologia CIELO – ProAAcXXIs).....	48
Figura 2.38_ Precipitação – ilha de Santa Maria (metodologia CIELO – ProAAcXXIs).....	49
Figura 2.39_ Evapotranspiração efetiva – ilha de Santa Maria (metodologia CIELO – ProAAcXXIs).....	49
Figura 2.40_ Reserva de Água no Solo – ilha de Santa Maria (metodologia CIELO – ProAAcXXIs).....	50
Figura 2.41_ Déficit hídrico climático – ilha de Santa Maria (metodologia CIELO – ProAAcXXIs).....	50
Figura 3.1_ Componentes do escoamento fluvial (adaptado de Fitts, 2002).	51
Figura 3.2_ Escoamento de base médio diário no Arquipélago dos Açores.	56
Figura 3.3_ Caudal médio diário e escoamento de base estimado na estação hidrométrica do Cachaço (OUT13 - SET19).	57
Figura 3.4_ Caudal médio diário e escoamento de base estimado na estação hidrométrica de Santa Bárbara (OUT11-SET14).	57
Figura 3.5_ Caudal médio diário e escoamento de base estimado na estação hidrométrica de Santa Bárbara (OUT15-SET19).	58
Figura 3.6_ Caudal médio diário e escoamento de base estimado na estação hidrométrica de São Francisco (OUT11-SET18).	58
Figura 3.7_ Caudal médio diário e escoamento de base estimado na estação hidrométrica de Guilherme (OUT11-SET15).	59
Figura 3.8_ Caudal médio diário e escoamento de base estimado na estação hidrométrica de Lomba da Erva (OUT11-SET19).	59
Figura 3.9_ Caudal médio diário e escoamento de base estimado na estação hidrométrica de Bispos (OUT11-SET19).	60
Figura 3.10_ Caudal médio diário e escoamento de base estimado na estação hidrométrica de Purgar (OUT13-SET15).	60
Figura 3.11_ Caudal médio diário e escoamento de base estimado na estação hidrométrica de Caldeirões (OUT11-SET12).	61
Figura 3.12_ Caudal médio diário e escoamento de base estimado na estação hidrométrica de Lombo Frio (OUT11-SET19).	61
Figura 3.13_ Caudal médio diário e escoamento de base estimado na estação hidrométrica de Salto da Inglesa (OUT11-SET12).	62
Figura 3.14_ Caudal médio diário e escoamento de base estimado na estação hidrométrica de Salto da Inglesa (OUT14-SET16).	62
Figura 3.15_ Caudal médio diário e escoamento de base estimado na estação hidrométrica de Salto da Inglesa (OUT18-SET19).	63
Figura 3.16_ Caudal médio diário e escoamento de base estimado na estação hidrométrica de Água de Pau (OUT11-SET17).	63
Figura 3.17_ Caudal médio diário e escoamento de base estimado na estação hidrométrica de Água de Pau (OUT18-SET19).	64
Figura 3.18_ Caudal médio diário e escoamento de base estimado na estação hidrométrica de Praia (OUT12-SET17).	64
Figura 3.19_ Caudal médio diário e escoamento de base estimado na estação hidrométrica de Praia (OUT18-SET19).	65
Figura 3.20_ Caudal médio diário e escoamento de base estimado na estação hidrométrica de Rib ^a Grande (OUT11-SET19).	65
Figura 3.21_ Caudal médio diário e escoamento de base estimado na estação hidrométrica de Pernada (OUT11-SET19).	66
Figura 3.22_ Caudal médio diário e escoamento de base estimado na estação hidrométrica de Lombadas (OUT11-SET13).	66
Figura 3.23_ Caudal médio diário e escoamento de base estimado na estação hidrométrica de Lombadas (OUT14-SET18).	67
Figura 3.24_ Caudal médio diário e escoamento de base estimado na estação hidrométrica de Rosário (OUT15-SET17).	67

Figura 3.25_ Caudal médio diário e escoamento de base estimado na estação hidrométrica de Gramas (OUT11-SET14).....	68
Figura 3.26_ Caudal médio diário e escoamento de base estimado na estação hidrométrica de Gramas (OUT17-SET19).....	68
Figura 3.27_ Caudal médio diário e escoamento de base estimado na estação hidrométrica de Ferreiro (OUT18-SET19).....	69
Figura 3.28_ Caudal médio diário e escoamento de base estimado na estação hidrométrica de Ribª Grande (OUT18-SET19).....	69
Figura 4.1_ Histograma relativo aos recursos hídricos subterrâneos renováveis nas várias ilhas dos Açores.....	71
Figura 4.2_ Histograma relativo aos recursos hídricos subterrâneos renováveis na ilha de Santa Maria.	73
Figura 4.3_ Variação mensal de recarga aquífera na massa de água Facho - Pico Alto na ilha de Santa Maria.	74
Figura 4.4_ Variação mensal de recarga aquífera na massa de água Anjos - Vila do Porto na ilha de Santa Maria.	74
Figura 4.5_ Histograma relativo aos recursos hídricos subterrâneos renováveis na ilha de São Miguel.	75
Figura 4.6_ Variação mensal de recarga aquífera na massa de água Ponta Delgada - Fenais da Luz na ilha de São Miguel.	75
Figura 4.7_ Variação mensal de recarga aquífera na massa de água Furnas - Povoação na ilha de São Miguel.	76
Figura 4.8_ Variação mensal de recarga aquífera na massa de água Achada na ilha de São Miguel.....	76
Figura 4.9_ Variação mensal de recarga aquífera na massa de água Água de Pau na ilha de São Miguel.....	77
Figura 4.10_ Variação mensal de recarga aquífera na massa de água Sete Cidades na ilha de São Miguel.	77
Figura 4.11_ Variação mensal de recarga aquífera na massa de água Nordeste - Faial da Terra na ilha de São Miguel.	78
Figura 4.12_ Histograma relativo aos recursos hídricos subterrâneos renováveis na ilha Terceira.	78
Figura 4.13_ Variação mensal de recarga aquífera na massa de água Cinco Picos na ilha Terceira.	79
Figura 4.14_ Variação mensal de recarga aquífera na massa de água Central na ilha Terceira.....	79
Figura 4.15_ Variação mensal de recarga aquífera na massa de água Caldeira Guilherme Moniz na ilha Terceira.....	80
Figura 4.16_ Variação mensal de recarga aquífera na massa de água Pico Alto na ilha Terceira.	80
Figura 4.17_ Variação mensal de recarga aquífera na massa de água Santa Bárbara na ilha Terceira.....	81
Figura 4.18_ Histograma relativo aos recursos hídricos subterrâneos renováveis na ilha Graciosa.....	81
Figura 4.19_ Variação mensal de recarga aquífera na massa de água Serra Dormida na ilha Graciosa.	82
Figura 4.20_ Variação mensal de recarga aquífera na massa de água Plataforma Stª Cruz - Guadalupe na ilha Graciosa.	82
Figura 4.21_ Variação mensal de recarga aquífera na massa de água Serra das Fontes na ilha Graciosa.	83
Figura 4.22_ Histograma relativo aos recursos hídricos subterrâneos renováveis na ilha de São Jorge.	83
Figura 4.23_ Variação mensal de recarga aquífera na massa de água Ocidental na ilha de São Jorge.....	84
Figura 4.24_ Variação mensal de recarga aquífera na massa de água Oriental na ilha de São Jorge.	84
Figura 4.25_ Histograma relativo aos recursos hídricos subterrâneos renováveis na ilha do Pico.	85
Figura 4.26_ Variação mensal de recarga aquífera na massa de água Lajes na ilha do Pico.	85
Figura 4.27_ Variação mensal de recarga aquífera na massa de água Planalto da Achada 1 na ilha do Pico.	86
Figura 4.28_ Variação mensal de recarga aquífera na massa de água Montanha 1 na ilha do Pico.	86
Figura 4.29_ Variação mensal de recarga aquífera na massa de água Planalto da Achada 2 na ilha do Pico.	87
Figura 4.30_ Variação mensal de recarga aquífera na massa de água Montanha 2 na ilha do Pico.	87
Figura 4.31_ Histograma relativo aos recursos hídricos subterrâneos renováveis na ilha do Faial.	88
Figura 4.32_ Variação mensal de recarga aquífera na massa de água Capelo na ilha do Faial.....	88
Figura 4.33_ Variação mensal de recarga aquífera na massa de água Vulcão Central na ilha do Faial.	89
Figura 4.34_ Histograma relativo aos recursos hídricos subterrâneos renováveis na ilha das Flores.	89
Figura 4.35_ Variação mensal de recarga aquífera na massa de água Superior na ilha das Flores.	90
Figura 4.36_ Variação mensal de recarga aquífera na massa de água Inferior na ilha das Flores.	90
Figura 4.37_ Histograma relativo aos recursos hídricos subterrâneos renováveis na ilha do Corvo.	91
Figura 4.38_ Variação mensal de recarga aquífera na massa de água Vulcão da Caldeira na ilha do Corvo.	91
Figura 4.39_ Sobreposição das massas de água subterrânea e das bacias hidrográficas para as quais foi possível estimar o valor de escoamento de base.....	93
Figura 4.40_ Histograma relativo aos recursos hídricos subterrâneos renováveis (disponibilidades totais), disponibilidades não exploráveis e reservas aquíferas por massa de água na ilha de Santa Maria.	97
Figura 4.41_ Histograma relativo aos recursos hídricos subterrâneos renováveis (disponibilidades totais), disponibilidades não exploráveis e reservas aquíferas por massa de água na ilha de São Miguel.....	97
Figura 4.42_ Histograma relativo aos recursos hídricos subterrâneos renováveis (disponibilidades totais), disponibilidades não exploráveis e reservas aquíferas por massa de água na ilha Terceira.	98
Figura 4.43_ Histograma relativo aos recursos hídricos subterrâneos renováveis (disponibilidades totais), disponibilidades não exploráveis e reservas aquíferas por massa de água na ilha Graciosa.	98
Figura 4.44_ Histograma relativo aos recursos hídricos subterrâneos renováveis (disponibilidades totais), disponibilidades não exploráveis e reservas aquíferas por massa de água na ilha de São Jorge.	99
Figura 4.45_ Histograma relativo aos recursos hídricos subterrâneos renováveis (disponibilidades totais), disponibilidades não exploráveis e reservas aquíferas por massa de água na ilha do Pico.....	99
Figura 4.46_ Histograma relativo aos recursos hídricos subterrâneos renováveis (disponibilidades totais), disponibilidades não exploráveis e reservas aquíferas por massa de água na ilha do Faial.....	100
Figura 4.47_ Histograma relativo aos recursos hídricos subterrâneos renováveis (disponibilidades totais), disponibilidades não exploráveis e reservas aquíferas por massa de água na ilha das Flores.	100
Figura 4.48_ Histograma relativo aos recursos hídricos subterrâneos renováveis (disponibilidades totais), disponibilidades não exploráveis e reservas aquíferas por massa de água na ilha do Corvo.	101

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1_ Precipitação Horizontal*	9
Quadro 2.2_ Percentagem de escoamento superficial em função da percentagem do coberto Florestal (Llano,1997 em Rodrigues, 2002)	10
Quadro 3.1_ Escoamento médio diário nas várias estações hidrométricas estudadas e estimativa do escoamento de base.	52
Quadro 4.1_ Recursos hídricos subterrâneos renováveis por ilha e intervalo de taxas de recarga nas várias massas de água delimitadas.....	70

Quadro 4.2_ Recursos hídricos subterrâneos e disponibilidades exploráveis por massa de água (n.a. – não aplicável).....	72
Quadro 4.3_ Comparação do critério adotado no PGRH-RH9 para a estimativa das disponibilidades subterrâneas exploráveis com o valor de escoamento de base (a verde as massas de água em que o critério permite estimar um volume de água não explorável superior ao escoamento de base e a laranja o caso inverso) (n.d – não determinado; n.a – não aplicável).	94
Quadro 4.4 _ Disponibilidades totais, exploráveis e não exploráveis versus reservas aquíferas para as várias massas de água subterrânea (n.d – não determinado; n.a – não aplicável). A verde os valores que devem ser considerados para efeito das disponibilidades não exploráveis de acordo com o critério PGRH e a amarelo sempre que este valor é menor que o valor resultante da soma da descarga total e do escoamento de base (entre parêntesis). A laranja salientam-se os casos em que a razão entre as reservas e as disponibilidades totais é menor que 40% (massas Anjos – Vila do Porto, Furnas - Povoação e Água de Pau (explicação no texto).....	95

1. ENQUADRAMENTO

O presente documento constitui o **Relatório Final do Projeto “HIDROBAL - Avaliação e espacialização do balanço hídrico e caracterização da interação entre as águas de superfície e subterrâneas”**, enquadrado no âmbito do projeto **MITIMAC - Mitigating climate change through innovation in the water cycle using low-carbon technologies – INTERREG V—A MAC 2014-2020 (MAC2/4.1ª/263)**, inserido na Atividade 2.1.2 – Identificación y análisis de los procesos y etapas en ciclo del agua y sus particularidades en cada región, do Objetivo Específico 1: Conocimiento de características y dificultades existentes dentro de cada región en el ciclo integral del agua.

1.1. Objetivo

De entre os fatores ambientais que determinam os meios de subsistência ou a competitividade de uma região, o clima – ou aspetos dele derivados – quer entendido como recurso, quer como fator limitante, assume papel de grande relevância. Nas ilhas, o Clima é a única fonte natural de água doce (precipitação), condiciona os mecanismos relacionados com o seu retorno à atmosfera (evapotranspiração) e controla também, através da forma como chove, os processos responsáveis pelas reservas hídricas, pela disponibilidade de água no solo, e por todo um conjunto de fenómenos associados ao escoamento – alguns benignos (caudais ecológicos, zonas húmidas, reservas energéticas), outros mais agressivos para o meio ambiente e para as populações (erosão, cheias, movimentos de massa, etc.).

Por outro lado, e no caso concreto dos Açores, e em particular em algumas das suas ilhas mais pequenas, a exiguidade territorial, a orografia, e a extensa fronteira com o mar - desproporcionada face à área de cada ilha - bem como a diversidade, natureza e relativa juventude das suas estruturas geológicas de origem vulcânica, são fatores que contribuem para que as disponibilidades hídricas sejam altamente dependentes do regime e da sazonalidade climática. Com efeito, quer o regime torrencial predominante no caso do escoamento de superfície, quer a menor capacidade de regulação providenciada pelos aquíferos, fruto da sua geometria e natureza, são aspetos que de alguma forma constroem as disponibilidades hídricas.

Nestas circunstâncias, o aprofundamento do conhecimento sobre a realidade insular, bem como o refinamento das metodologias utilizadas para a avaliação dos fatores e fenómenos que determinam os recursos hídricos, designadamente no que se refere a uma informação climática detalhada e da forma como o clima interatua com os outros elementos do sistema hidrológico, revela-se fundamental, quer se trate de avaliar as potencialidades hídricas da região, quer se trate da necessidade de acompanhamento em tempo útil dos balanços hídricos das ilhas, tarefa cada vez mais pertinente face à pressão crescente sobre o recurso e atendendo às anomalias intra e inter anuais verificadas num quadro de um clima em mudança.

Nesse sentido, e pese embora todo o esforço já desenvolvido, trata-se de uma tarefa que necessita de uma constante atualização, quer como consequência da evolução natural dos fenómenos, quer atendendo à evolução da informação e do conhecimento sobre os mesmos, quer ainda pela alteração progressiva da ocupação e usos do território por via das dinâmicas naturais e das populações.

É assim que, deste enquadramento dinâmico, resultam os objetivos do presente trabalho, o qual tem em vista uma atualização da avaliação e espacialização do balanço hídrico e caracterização da interação entre as águas de superfície e as subterrâneas da Região Autónoma dos Açores (RAA).

1.2. Trabalhos anteriores relevantes

Desde longa data que as populações e entidades administrativas da atual RAA têm vindo a ser confrontadas com uma crescente necessidade de avaliarem os seus recursos, bem como de encontrarem maneira de os gerir e explorar de uma forma ambientalmente sustentável. É este o caso do recurso hídrico que, sendo um recurso teoricamente renovável, a sua disponibilidade regular depende de fatores que não controlamos diretamente (como no caso do clima), bem como estão sujeitos a uma procura e pressão crescentes como resultado da evolução dos modos de vida, da evolução tecnológica e industrial, bem como de economias em expansão altamente dependente do conforto hídrico, como é o caso da agricultura e das atividades turísticas.

De longe, de entre as iniciativas da maior relevância relacionadas com o acesso à água potável pelas populações e economia dos Açores, destaca-se, pela sua dimensão e importância social e económica, todo o esforço desenvolvido pelas autarquias e poder local na conceção e construção de infraestruturas de captação de água, no seu tratamento, adução e distribuição ao consumidor. Este esforço – muitas vezes esquecido e desvalorizado – permitiu que, no tempo de vida de uma geração, o acesso à água potável seja uma realidade que cobre 100% do território dos Açores.

Deste esforço e desta realidade, bem como do incremento da procura mas também da crescente consciência ambiental e da constatação das particularidades de cada ilha e da limitação dos seus recursos, resultou naturalmente que, a partir de determinado patamar, fosse necessário um trabalho de coordenação e de planeamento tendo em vista a gestão racional do recurso hídrico na RAA. É assim que surge o Plano Regional da Água dos Açores (PRAA), ao qual se seguiram o Plano de Gestão de Região Hidrográfica, os Planos de Ordenamento das Bacias Hidrográficas de Lagoas, e projetos de proteção de origens de água, entre outros, como é o caso do Plano de Gestão de Secas e Escassez da RAA atualmente em desenvolvimento.

Para cada uma destas iniciativas, pese embora em muitos casos tenham sido inicialmente abordadas à luz do conhecimento aplicável a outras regiões e realidades, foi necessário desenvolver conhecimento e adaptar metodologias que melhor refletissem a realidade regional nos diferentes domínios que interferem com as disponibilidades hídricas em ilhas de pequena dimensão, como é o caso das ilhas dos Açores.

No que se refere à informação climática, da maior relevância para a avaliação do balanço hídrico, as primeiras abordagens foram confrontadas com a escassez de informação, limitada na generalidade dos casos à periferia das ilhas, inexistente em algumas delas, e obtida em estações meteorológicas que dificilmente refletem a grande diversidade climática determinada pela altitude e orografia das diferentes ilhas dos Açores.

Desta limitação, surgiu a necessidade de adoção - e em alguns casos do desenvolvimento de raiz - de metodologias que melhor refletissem, não só a diversidade da realidade climática, mas também uma melhor interpretação dos mecanismos que intervêm nas diferentes fases do balanço hídrico em ambientes insulares. Neste domínio, destaca-se a

adoção do modelo de base física CIELO – Clima Insular à Escala Local (Azevedo, 1996), tendo em vista a espacialização das variáveis climáticas a uma escala compatível com a realidade insular, bem como outras aproximações associadas ao mesmo modelo destinadas a estimar outras componentes do balanço, como a fração infiltrada e aquela que escoar em superfície (Azevedo *et al.* 2002).

Mais recentemente, face ao desafio das Alterações Climáticas (AC) e da necessidade de avaliar a sua expressão e impacte nas ilhas dos Açores, em particular o impacte sobre os recursos hídricos, foi proposto e está em curso o projeto ProAAcXXIs, acrónimo para “Projeção das Alterações Climáticas Nos Açores para o século XXI (Implicações de interesse hidrológico e ambiental), desenvolvido no âmbito do PO_Açores 2020 (PO Açores 01-0145-FEDER-000037).

O projeto ProAAcXXIs tem como objetivo genérico “colmatar a falta de cenários climáticos e suas implicações nos processos hidrológicos nas pequenas ilhas num enquadramento de Alteração Climática (AC), operacionalizando esse conhecimento à realidade dos Açores através de ferramentas compatíveis com a escala das atividades e sensibilidade dos principais sectores que dela dependem (agricultura e ambiente).” A sua operacionalização tem em consideração os seguintes objetivos específicos: “desenvolvimento e aplicação à RAA de novas metodologias para um modelo conceptual integrado de natureza hidrológica que, através de um balanço hídrico sequencial, permita o acompanhamento distribuído e estimativa futura das condições hídricas, quer nos ecossistemas naturais, quer nos ecossistemas agrícolas e florestais. Nesse sentido, o projeto ProAAcXXIs assenta nos seguintes objetivos genéricos: (i) diferenciação da variabilidade climática normal da alteração climática; (ii) projeção do clima futuro para os Açores com a adoção de um RCP mais desfavorável; (iii) conceção e operacionalização de um modelo físico de balanço hídrico integrado com maior resolução espacial baseado num conhecimento científico mais aprofundado dos processos naturais e artificiais nas ilhas; (iiii) criação de uma plataforma de SIG vocacionada para a divulgação pública da informação relevante, designadamente o acompanhamento de índices de seca, água no solo, escoamentos e outros índices relevantes.”.

Algumas das metodologias aplicadas no presente trabalho constituem já resultado do projeto ProAAcXXIs, o qual integra desenvolvimentos e aperfeiçoamentos do modelo CIELO.

2. GENERALIZAÇÃO ESPACIAL DOS PARÂMETROS RELEVANTES PARA O BALANÇO HÍDRICO ADAPTADA A AMBIENTES INSULARES

Tal como já anteriormente reconhecido, designadamente no Plano Regional da Água dos Açores (PRA), a adoção de metodologias clássicas de generalização de dados meteorológicos ou climáticos a todo o território insular, obtidos em estações meteorológicas localizadas essencialmente na faixa costeira, não permite a avaliação de importantes processos hidro-meteorológicos que ocorrem em altitude no interior das pequenas ilhas. De entre essas limitações destaca-se a incapacidade dessas metodologias entrarem em linha de conta com o incremento da precipitação em altitude resultante de mecanismos termodinâmicos despoletados pela orografia, bem como com a alteração progressiva das taxas evapotranspiração devido ao decréscimo da temperatura, à elevação da humidade relativa do ar, e ao aumento da nebulosidade orográfica com interferências na energia disponível para o processo.

Nestas circunstâncias, o recurso a técnicas de modelação numérica que reflitam os processos físicos que estão na base da diversidade e assimetrias climáticas revela-se uma boa alternativa, tal como provam os resultados obtidos com o modelo CIELO (acrónimo para Clima Insular à Escala Local) (Azevedo, 1996), modelo de base física, calibrado para a ilha Terceira (cf. Figura 2.1) e validado para outras ilhas do arquipélago, bem como para outros enquadramentos insulares (Azevedo, 1996; Azevedo *et al.*, 1998; Azevedo *et al.*, 1999; Azevedo *et al.*, 1999; Santos *et al.* 2004; Miranda *et al.*, 2006).

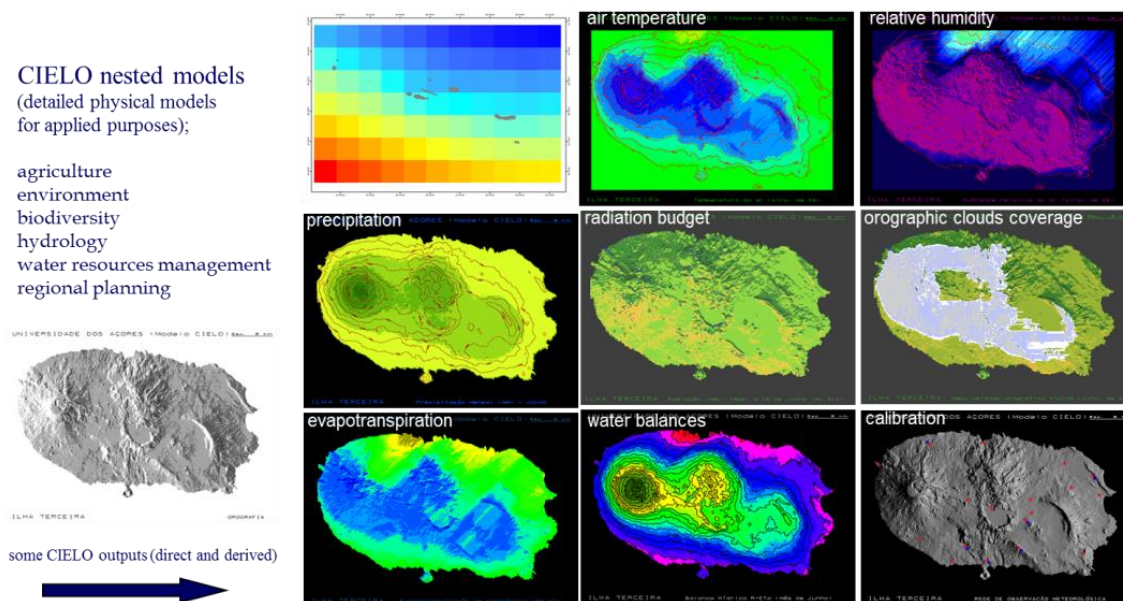


Figura 2.1_ Aplicações CIELO (Azevedo, 1996)

No modelo CIELO admite-se existir uma relação entre o evoluir das características das camadas mais baixas da atmosfera em deslocação sobre o território insular (transporte advectivo) e as transformações dos parâmetros de estado do ar, predominantemente de natureza adiabática, induzidas pelo evoluir da topografia. Com base neste pressuposto, torna-se então possível estimar matricialmente com base no método de resolução de diferenças

finitas a evolução das condições climáticas, observadas àquele nível, que justificam os valores observados numa estação meteorológica de referência que “conhece” a sua posição no contexto orográfico e da dinâmica atmosférica.

No contexto do presente trabalho, e pese embora atualmente o modelo CIELO tenha evoluído para funcionar como ferramenta de *downscaling* forçado a partir das condições de fronteira geradas por modelos regionais de menor resolução (Santos *et al.* 2004), opta-se por conciliar o espólio informativo das estações climáticas existentes para, a partir dele, serem aplicadas as metodologias determinísticas de base física implícitas no modelo CIELO. Desta feita, o modelo recorre em cada ilha aos dados recolhidos numa estação climatológica de referência para, a partir deles, simular as condições de forçamento para períodos de tempo equivalentes aos períodos simulados.

No âmbito do presente trabalho é adotada uma janela temporal equivalente ao “clima normal atual”, enquanto que, no desenvolvimento do projeto ProAAcXXIs, a perspetiva estende-se até final do século XXI.

2.1 Condicionantes biofísicas à espacialização dos parâmetros

2.1.1 Orografia

Por razões relacionadas com a sua génese, as ilhas vulcânicas são, quase sempre, parcelas de pequena dimensão com forte desenvolvimento em altitude pelo que a variação espacial das condições climáticas sobre o território é mais acentuada do que em outras regiões mais aplanadas. Por outro lado, o carácter acidentado do relevo favorece a diversidade de aspetos particulares do clima, designadamente assimetrias climáticas entre vertentes, as quais decorrem da forma como a orientação da exposição do relevo e o seu declive se relacionam geometricamente com a incidência da radiação solar, bem como da forma como as barreiras orográficas se interpoem e interferem com o regime advectivo.

As ilhas, pelo facto de emergirem bruscamente da “planície” aquática em condições de exposição a todos os quadrantes da circulação atmosférica, constituem, a uma determinada escala, obstáculos às massas de ar que as abordam, de que decorrem implicações locais significativas, designadamente devidas a alterações bruscas das características termodinâmicas e aerodinâmicas do ar que sobre elas circula. Estas alterações, que se podem considerar insignificantes no contexto da circulação geral ou sinótica, resultam em importantes determinantes do clima regional e local, nomeadamente responsáveis pela configuração, a essas escalas, dos campos da precipitação, da temperatura, da humidade, da nebulosidade e, conseqüentemente, da distribuição da radiação solar sobre o território.

No contexto da orografia insular, as transformações acima identificadas são bem explicadas pelo chamado efeito de Föhn, modelo termodinâmico proposto desde finais do século XIX por Hann (1866,1885, em Azevedo 1996), tendo como base as transformações termodinâmicas sofridas por uma massa de ar que húmido que, por solicitações do campo da pressão atmosférica, é obrigada a transpor uma barreira montanhosa. Nesta conceção, a temperatura do ar em ascensão a barlavento de um obstáculo orográfico decresce em altitude de acordo com o gradiente adiabático da temperatura para o ar seco até atingir a temperatura do ponto de orvalho, sendo que, a partir desse ponto, parte do vapor de água nela contida condensa, cedendo calor latente ao ar circundante,

passando a temperatura a decrescer a uma taxa menor e de acordo com o gradiente adiabático do ar saturado. Nestas circunstâncias, e sempre que reunidas as condições de nucleação e manutenção do caudal atmosférico, parte da água que condensa pode ser removida por precipitação ao longo da ascensão ou logo após a passagem pelo cume da barreira orográfica. Ultrapassada a barreira orográfica, o ar que desce aquece por compressão adiabática sendo que, no caso de ter sido removida parte da água original por precipitação - o que nem sempre acontece -, a transição do gradiente adiabático saturado para o insaturado dá-se a uma altitude superior à observada na vertente a barlavento. Deste mecanismo resulta que, abaixo dessa altitude, e ao longo da sua descida, o ar atinja temperaturas superiores àsquelas observadas à mesma altitude a barlavento (cf. Figura 2.2).

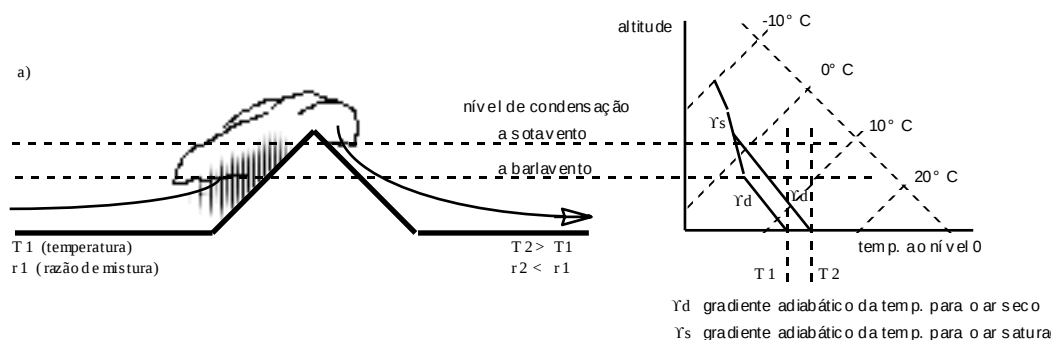


Figura 2.2_ Mecanismo de Föhn (em Azevedo, 1996)

É assim que se explica que, pese embora as ilhas do arquipélago dos Açores apresentem uma significativa diversidade climática derivada do seu contexto oceânico e da sua distribuição geográfica, quer em latitude quer em longitude, as características do clima de cada uma das suas ilhas está fortemente associado à respetiva orografia.

Deste modo, e no contexto do presente trabalho, a definição das fronteiras do domínio de computação do modelo CIELO deriva de modelos numéricos do terreno de cada uma das ilhas obtidos a partir da cartografia vetorial dos Serviços Cartográficos do Exército – Instituto Geográfico do Exército (Coleção - CARTA MILITAR DE PORTUGAL 1:25000. Açores, série M889), convertidos posteriormente para matrizes numéricas (formato “*raster*”) com resolução de 100x100 metros.

Já as fronteiras internas do sistema correspondem às estabelecidas entre as paredes conceptuais das células finitas da grelha utilizada nos procedimentos de cálculo do modelo. Deste modo, as condições específicas de fronteira em cada uma das células do domínio são, assim, função da evolução das características do ar em circulação que, por seu lado, é função dos parâmetros de iniciação (forçamento) e da evolução específica da altimetria para cada direção da circulação atmosférica sobre as ilhas.

2.1.2 Solos

Os solos são umas das componentes fundamentais do balanço hídrico das regiões; ora por constituírem um reservatório significativo de água disponível para o processo da evapotranspiração, ora por controlarem as taxas

de infiltração de que resultam os montantes disponíveis em profundidade bem como os remanescentes em circulação superficial e sub-superficial.

Contudo, tendo em vista os objetivos do presente trabalho, não foi ainda possível ter acesso a uma informação detalhada sobre as propriedades hidráulicas e hidrológicas dos principais tipos de solos das ilhas dos Açores, tarefa que se revela cada vez mais urgente realizar tendo em vista um aperfeiçoamento dos balanços hídricos das diferentes ilhas. Desta limitação, e no âmbito do presente trabalho, resulta a opção clássica de se atribuir um valor fixo à capacidade de água útil para o balanço, desta feita um valor de 120 mm, na convicção de que num futuro próximo seja possível corrigir os balanços com base numa avaliação mais detalhada desta variável.

De qualquer forma, e pese embora as limitações acima apontadas, procede-se a algumas considerações genéricas sobre esta importante componente do balanço, designadamente com base na tese “Recursos Hídricos e Património Natural” de M.C. Rodrigues (2002) referente à aplicação de uma metodologia de suporte ao ordenamento do sítio de interesse comunitário da zona do complexo central da Ilha Terceira.

Os solos vulcânicos são resultantes da alteração química, física e mineralógica dos diferentes materiais vulcânicos, escoadas e depósitos piroclásticos - cinzas, pedra-pomes, escórias basálticas - que deram origem às ilhas. A distribuição dos diversos tipos de solos resulta assim da natureza e idade dos materiais que estão na sua origem, posteriormente transformadas pela ação do clima e da vegetação.

No que se refere às suas propriedades hidráulicas, Molchanov (1971, em Rodrigues 2002) considera que, e a título comparativo, se o escoamento superficial de um solo franco for considerado de 100%, então num solo franco-arenoso será apenas de 25-30% e num estritamente arenoso não passará dos 10-15%.

Solos com baixa permeabilidade e rochas expostas produzem escoamento superficial mesmo com baixos níveis de precipitação, favorecendo consequentemente a erosão e a formação de canais de escoamento. Por outro lado, solos com afloramentos rochosos suficientemente fraturados favorecem a infiltração da precipitação (Falkland, 1991, em Rodrigues 2002).

Solos com elevada capacidade de retenção de água favorecem a evapotranspiração reduzindo, particularmente em períodos de estio, a precipitação efetiva para fins de recarga aquífera. Solos pouco desenvolvidos e grosseiros, com uma baixa capacidade de retenção, são propícios à infiltração.

A taxa de infiltração do solo varia também consoante o tipo de coberto vegetal, com as características físicas do perfil do solo, como por exemplo a porosidade, a condutividade hidráulica e a evolução do respetivo teor de humidade.

Por outro lado, nos solos sujeitos a intervenção humana, as taxas da infiltração dependem dos seus diferentes usos, e ainda do seu manejo e operações mecânicas ao longo do tempo. Solos finamente mobilizados ficam sujeitos à obturação dos poros reduzindo substancialmente a capacidade de infiltração, dando origem a um maior escoamento superficial.

O escoamento superficial apresenta uma grande variabilidade consoante as condições locais. A magnitude do escoamento superficial aumenta com o tamanho da ilha e decresce com o aumento da permeabilidade. Os declives

favorecem o escoamento superficial. Em ilhas muito pequenas, os canais de drenagem raramente coletam água suficiente, a não ser que a permeabilidade seja muito baixa ou que existam camadas intercalares de material muito impermeável (Falkland, 1991, em Rodrigues 2002). Em climas muito húmidos, como no caso de algumas ilhas dos Açores, o tipo e o estado de desenvolvimento da vegetação constitui fator substancial de controlo do escoamento superficial.

As características dos materiais de origem vulcânica das ilhas dos Açores, onde predominam materiais piroclásticos com presença de material vítrico não cristalizado, associadas ao tipo de clima, dão origem a um tipo de solo dominante, com características muito específicas, designado por “andossolos” (Pinheiro 1990, em Rodrigues 2002). Na fração argilosa destes solos existem materiais de fraca ordenação estrutural, especialmente alofanos, imogolite, sílica opalina e ferrihídrite que lhe conferem propriedades muito distintas das dos restantes solos minerais. Por regra, estes solos apresentam baixa densidade aparente, elevada porosidade, dificuldade de dispersão, elevada capacidade de retenção de água, grande poder de fixação de fósforo, entre outras características específicas.

Em condições hidro-climáticas favoráveis, os feldspatos da fração argilosa dos andossolos são hidratados e as bases alcalinas dissolvidas. Os minerais ferromagnesianos são igualmente dissolvidos, formando-se sesquióxido de ferro hidratado. Com o empobrecimento dos minerais primários passam a dominar os secundários, as alofanos, argilas amorfas sílico-aluminosas hidratadas, que impermeabilizam o solo com uma certa rapidez. A compactação destas camadas conduz à formação de superfícies alagadas, charcos e lagoas. Por outro lado, a lixiviação e migração dos componentes hidrolisados e solubilizados para níveis inferiores dos solos dão origem a horizontes com propriedades plácicas (Madruga, 1986, em Rodrigues 2002). A delgada camada de óxidos de ferro que se forma a uma profundidade que raramente ultrapassa os 30 cm apresenta-se, com frequência, muito cimentada, dando origem a amplas zonas encharcadas, com especial continuidade das regiões onde os andossolos ferruginosos são dominantes. As camadas ferruginosas condicionam a circulação vertical da água, bem como a penetração em profundidade do sistema radicular do coberto vegetal, definindo assim o limite inferior da espessura efetiva do solo.

2.1.3 Coberto vegetal

A vegetação de um território condiciona tanto processos estritamente climáticos como mecanismos de natureza hidrológica. À escala global, a vegetação é um dos principais elementos do ciclo hidrológico, contribuindo para a devolução controlada à atmosfera de enormes quantidades de água sob a forma de vapor, mas também para a sua regularização contrariando processos hidrológicos extremos. À escala local, dependendo das suas características, a vegetação interfere com os processos hidrológicos designadamente: contribuindo para a precipitação através da interceção de água líquida em suspensão na atmosfera (precipitação horizontal); controlando a forma como a água atinge o solo através dos seus copados; controlando as reservas disponíveis através da evapotranspiração; contrariando e regulando o escoamento em superfície e a infiltração profunda; contribuindo, em alguns casos, para a manutenção de significativas reservas hídricas em superfície de elevado interesse ecológico e hidrológico.

No Arquipélago dos Açores, em particular nas zonas mais altas das suas Ilhas, para além do reforço da precipitação meteorológica devida a mecanismos orográficos já descritos, há a considerar a captação e o contributo de importantes montantes hídricos por ação de um tipo de vegetação com elevada capacidade de interceção

higroscópica, cuja estrutura biológica promove a interceção e captação das gotículas de água de nuvens e nevoeiros em circulação sobre o território. Este processo, a que se atribui a designação de precipitação horizontal, sendo de reconhecida importância hidrológica é no entanto de difícil quantificação. A sua eficiência tem sido avaliada de forma empírica por vários autores com base no tipo e estrutura da vegetação (Quadro 2.1), pese embora subsista muita incerteza sobre a matéria.

Para além do reforço da precipitação, este tipo de vegetação controla de forma muito eficiente os movimentos superficiais da água e a erosão dos solos, favorecendo a sua infiltração lenta para camadas mais profundas. Os casos mais expressivos destes processos ocorrem em bacias endorreicas do interior das caldeiras, onde, à elevada pluviosidade, se associa o processo progressivo de impermeabilização de camadas de solos com origem em horizontes plácicos. Estas situações estão na origem de muitas das turfeiras dos Açores de elevado valor ambiental e hidrológico.

Quadro 2.1_ Precipitação Horizontal*

Autores	Espécies	Coníferas	Tsuga	Abeto	Floresta Mista	Matos Naturais
Moore (1924 in Molchanov,1971)			3-11			
Hirata (1929 in Molchanov,1971)				10-11		
Rubner (1932 in Molchanov,1971)		30-50				
Scheleuser (1971 in Armenta1983)						20
Pereira (1991)					11,6	

Legenda:* % de acréscimo à precipitação meteorológica de acordo com diferentes autores (Rodrigues, 2002)

Da mesma forma, as variedades vegetais utilizadas pela agricultura interferem e apresentam diferentes comportamentos hidrológicos. Em alguns casos protegendo o solo da erosão mas não permitindo grandes taxas de infiltração, como é o caso da pastagem. Noutros casos, essas características estão fortemente associadas ao manejo das culturas e respetivos ciclos culturais. Como é o caso das operações de sementeira para pastagem ou para a instalação de milhos, em que a coincidência das operações mecânicas com fenómenos de precipitação podem resultar elevado escoamento superficial e fenómenos graves de erosão.

Noutra perspetiva, a alteração do uso do solo no que se refere à vegetação pode acarretar alterações hidrológicas significativas. De uma forma geral, é admitido que a desflorestação facilita o escoamento superficial (cf. Quadro 2.2), contribuindo para a diminuição da infiltração, particularmente quando ocorre em zonas de encosta, com declives acentuados, podendo mesmo conduzir a situações de elevada perigosidade.

Quadro 2.2_ Percentagem de escoamento superficial em função da percentagem do coberto Florestal (Llano,1997 em Rodrigues, 2002)

% de superfície florestada	0	10	20	30	50	60
% de escoamento superficial	65-75	25-45	18-25	14-20	10-15	8

2.2 Balanço hídrico sequencial – Variáveis climatológicas, escoamento e infiltração

No presente trabalho recorreu-se à conceptualização hidrológica de balanço hídrico preconizada por M. C. Rodrigues (2002) e adotada para o projeto ProAAcXXIs, designadamente no que se refere às componentes de superfície e de acordo com a Figura 2.3. Pese embora esta aproximação, ficam ainda por avaliar, para além da diferenciação das reservas úteis do solo e seus efeitos no balanço, como acima já referido, os montantes hidrológicos resultantes da precipitação horizontal, processo que necessita de um trabalho de investigação e calibração posteriores.

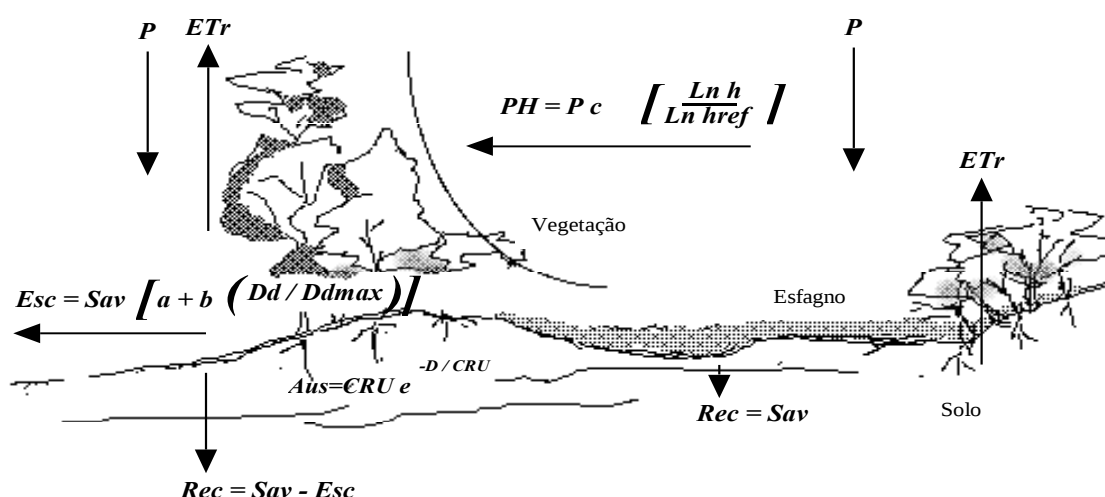


Figura 2.3_ Exemplo modelo sequencial mensal de balanço de massa $(P+PH)-(ETr+\Delta AU_s+\Delta AU_m) = Sav$ em que: P = Precipitação atmosférica; PH = Precipitação Horizontal; ETr = Evapotranspiração real; ΔAU_s = variação do armazenamento da água útil do solo; ΔAU_m = variação do armazenamento da água útil na cobertura muscicular (*sphagnum* ssp.); Sav = superavit hídrico. (em M.C. Rodrigues 2002)

2.2.1 Precipitação

Tal como oportunamente referido, no âmbito do presente trabalho a espacialização das variáveis climáticas utilizadas no balanço hídrico das ilhas decorre da aplicação do modelo CIELO. No que diz respeito à precipitação, o modelo assenta nos seguintes pressupostos descritos em Azevedo (1996):

“[...]admite-se por hipótese existir, na generalidade, uma relação deduzível entre o evoluir das características dinâmicas e termodinâmicas das camadas mais baixas da atmosfera em deslocação sobre o território (transporte advectivo) que, ao serem afetadas por fatores climáticos de expressão local, nos permitem, com base em conceitos físicos, estimar a evolução das condições climáticas observadas àquele nível.

No modelo considera-se como representativo do ar em circulação uma parcela homogénea e finita do mesmo (partícula à escala aerológica), cujas características termodinâmicas e dinâmicas iniciais são deduzidas dos dados meteorológicos observados numa estação meteorológica padrão, tomada como referência, cujos registos são considerados representativos das condições climáticas à escala regional. Conceptualmente, da integração bidimensional das parcelas de ar resulta uma lâmina de ar em deslocação sobre o território que apresenta as mesmas propriedades ao nível de toda a fronteira de barlavento (fronteira de iniciação). Deste modo:

- I) O modelo é baseado no conhecimento das condições iniciais e posterior acompanhamento, ao longo de um perfil altimétrico específico, do comportamento de um volume de ar, de massa inicial unitária, que se desloca no seio de um fluxo laminar contínuo e que aborda a ilha de acordo com a direção do vento e com a velocidade deste;
- II) A unidade de volume de ar obrigada a contornar a ilha em altitude fá-lo mantendo o mesmo rumo e sofrendo expansões e compressões adiabáticas, das quais resultam transformações internas com implicações na variação da respetiva temperatura, humidade relativa e, desde que reunidas as condições necessárias, mudanças de fase da água nele contida;
- III) Sendo o modelo conservativo no que respeita à massa e à energia, a quantidade total de água contida na unidade de volume no início do seu percurso sobre a ilha iguala, em qualquer ponto do seu trajeto, o conjunto da que permanece sob a forma de vapor, mais a que, condensada, permanece em suspensão e aquela que precipitou até aquela posição da sua trajetória;
- IV) Atendendo à reduzida dimensão do território e às características de circulação em equilíbrio dinâmico ao nível dos limites conceptuais do modelo, a simulação dos campos da temperatura e do estado higrométrico do ar não são dependentes nem da intensidade da circulação (caudal de ar) nem do tempo mas apenas das condições de iniciação e de fronteira; i. e. mantendo-se as mesmas condições de iniciação e de fronteira mantêm-se o mesmo padrão da temperatura, humidade do ar e nebulosidade orográfica, independentemente do tempo decorrido. Porém, no caso da precipitação, sendo um processo cumulativo, a sua quantificação depende do caudal de ar que aborda o território e, por conseguinte, da sua intensidade;
- V) No balanço da componente gasosa e líquida da substância água no interior da unidade de volume de ar, são considerados três processos dos quais resultam implicações na evolução das respetivas características termodinâmicas: i) a condensação (C) que ocorre por arrefecimento adiabático; ii) a evaporação (E) da água líquida em suspensão que ocorre por aquecimento adiabático; iii) a precipitação de uma fração da água condensada desde que reunidas as condições necessárias (vd. Figura 2.4).

IX) A avaliação absoluta da distribuição da precipitação orográfica (R_{or}) é obtida a partir da afetação dos valores relativos (R''_{or}), a um fator de escala único para todo o domínio (designado por fator de escala D) cujo significado traduz o conjunto dos restantes aspetos que condicionam os fenómenos pluviosos, nomeadamente o tempo decorrido, as características da atmosfera que contribui para a precipitação, a instabilidade atmosférica e a componente vertical da quantidade de movimento. O fator de escala (D) é estimado, como se explica em detalhe mais adiante, de uma forma empírica a partir de um modelo simples de regressão linear, devidamente calibrado localmente, e em função da precipitação regional (R_r) registada na estação de referência que é, também, necessariamente influenciada por aqueles aspetos;

X) Assim, a reconstituição do campo do total da precipitação (R_{tot}), durante um determinado intervalo de tempo, é feita integrando as duas componentes - precipitação orográfica (R_{or}) mais a precipitação regional (R_r) - através de três fases: i) determinação da configuração da deposição relativa da precipitação orográfica em todo o domínio; ii) determinação da componente orográfica absoluta afetando o campo da distribuição relativa ao fator de escala D; iii) determinação do campo do total da precipitação por adição ao campo da componente orográfica o valor da precipitação observado ao nível do mar numa estação de referência;

XI) Do balanço de água atmosférica na unidade de volume de ar em movimento sobre o território, baseado na interpretação do total de água na forma líquida e gasosa que o aborda a barlavento em relação ao total das mesmas componentes observadas a sotavento, resulta a noção de eficiência do sistema no que respeita à geração da precipitação orográfica. Deste modo, e baseados na Figura 2.4, resulta que por unidade de volume de ar que percorre o território:

$$r(2) + ql(2) - \int_{\Delta x} \alpha ql dx - r(4) - ql(4) = 0$$

sendo, por facilidade de cálculo, a quantidade de água no interior da unidade de volume contabilizada em gramas por quilograma de ar seco (razão de mistura), donde:

r : razão de mistura do vapor de água ($g\ k^{-1}$)

ql : água condensada por efeitos orográficos ($g\ k^{-1}$)

1,2,3,4 e 5: posições das diferentes componentes ao longo do trajeto da unidade de volume de acordo com a Figura 6.8.

donde:

$$\frac{r(2) + ql(2) - r(4) - ql(4)}{r(2) + ql(2)} 100 = fp$$

em que fp é a percentagem da água que precipita por efeitos orográficos em relação ao total daquela que entra no sistema.

XII) Os valores assumidos pelas diferentes variáveis do modelo (pressão, temperatura, razão de mistura, etc.) no seio da partícula em deslocação geram o padrão unidimensional (perfil longitudinal ao longo da linha) do campo do elemento climático equivalente. Da integração espacial de todos os padrões unidimensionais, um por cada linha de progressão do modelo, resulta o padrão bidimensional do elemento em causa;

XIII) Se durante o período de tempo considerado para a modelação se verificar alteração das condições de fronteira e de iniciação, nomeadamente circulação de diferentes quadrantes, o campo bidimensional do elemento em causa resulta da média ponderada dos diferentes campos gerados, um por cada rumo observado durante o mesmo intervalo de tempo [...].”

2.2.2 A Evapotranspiração

A nível conceptual, a Evapotranspiração (Et) corresponde ao processo conjugado de passagem de água para a atmosfera, sob a forma de vapor, através de superfícies complexas, em que estão envolvidos os mecanismos de evaporação dos solos, evaporação à superfície dos copados e a transpiração resultante dos processos metabólicos e termodinâmicos que ocorrem nas plantas.

A Evapotranspiração é um dos principais componentes do balanço hídrico e dos mais difíceis de quantificar atendendo à heterogeneidade das condições climáticas e dos fatores biofísicos que a condicionam (McColl *et al.* 2020). O estado da arte sobre a Et, bem como as teorias baseadas na equação de *Clausius-Clapeyron*, indicam que, globalmente, a Et deverá crescer num clima mais quente, implicando uma aceleração do ciclo hidrológico (Katul & Novick, 2009; Williams *et al.* 2020).

No presente trabalho, tal como acontece no projeto ProAAcXXIs, é adotado o conceito de Evapotranspiração de Referência (Eto) inicialmente desenvolvido por Penman (1948), reformulado por Monteith (1965), e posteriormente uniformizado e divulgado pela FAO através das publicações *Irrigation and Drainage Paper nº 24*, FAO24 (Doorenbos & Pruitt, 1977), e *Irrigation and Drainage Paper* FAO56 (Allen *et al.* 1998), onde o cálculo da Eto é feito com base numa equação genericamente designada de Penman-Monteith_ET0 (PM_ET0). Aquela variável passa agora a ser padronizada com a taxa de evapotranspiração de uma cultura hipotética, de altura 0.12 m, resistência de superfície diária igual a 70 s m⁻¹ e um albedo de 0.23, equiparada a um relvado, de altura constante, cobrindo completamente o solo, em conforto hídrico e em pleno crescimento vegetativo. A partir desta aproximação torna-se então possível estimar as potencialidades de evapotranspiração de cobertos vegetais reais, diferentes do adotado como referência, afetando a Eto a um coeficiente cultural específico (kc), passando então a designar-se por Evapotranspiração Cultural (Etc).

Desta feita, no âmbito do presente trabalho, e no que se refere à parametrização das características das superfícies que interferem na evapotranspiração, incluindo as ocupadas por vegetação, recorre-se às diferentes classes de Nível 1 (N1) preconizadas nas Cartas de Ocupação de Uso do Solo dos Açores (COSA-2018). A cada uma das classes COSA N1 a que corresponde vegetação é atribuído um coeficiente cultural genérico com base na interpretação dos valores propostos na literatura, designadamente na FAO 56 (Allen *et al.* 1998) e em Paredes *et al.* (2018).

Quando o processo é considerado em função da água verdadeiramente consumida, a variável assume o nome de Evapotranspiração real, actual ou efectiva (Etr, Eta, Ete). Neste caso, para além das solicitações de natureza climática, são também considerados os mecanismos associados às resistências ativas do coberto vegetal à perda de água, e às resistências passivas derivadas da alteração progressiva das propriedades hidráulicas dos solos (ver Penman 1948; Monteith 1965; Brutsaert, 1982; Hargreaves & Samani 1982; Rosemberg 1983; Allen 1996, 1997; Jensen *et al.* 1990; Allen *et al.* 1998, 2011; Pereira *et al.* 1999; Liu & Pereira 2001; Pereira *et al.* 2015; Paredes *et al.* 2017; Pereira, 2017; Fisher *et al.* 2017; McColl *et al.* 2020).

Em situações em que a informação climática observada é escassa, ou disponível a partir de estimativas como é o caso da modelação, são admitidas generalizações – tais como as propostas na FAO56 – designadamente com recurso aos métodos FAO_PM Temperature e Hargreaves-Samani (Hargreaves & Samani, 1982; Raziei *et al.*, 2013; Almorox *et al.* 2016; Paredes *et al.* 2017a,b; Moratiel *et al.* 2020). Nesse sentido, e conforme preconizado em Paredes *et al.* 2017a, o modelo CIELO pode ser utilizado com vantagem. É com base nesta última aproximação que a Eto é calculada no âmbito do presente trabalho, assumindo a seguinte expressão (em Paredes *et al.* 2018):

$$Eto_{(HS)} = 0.0135 K_{RS} (Ra/\lambda) (T_{max}-T_{min})^{0.5} (T_{mean}+ 17.8)$$

Onde:

λ = calor latente de vaporização (MJ kg⁻¹) para a temperatura média; equivalente a 2.45 MJ kg⁻¹.

K_{rs} = coeficiente de ajustamento calibrado localmente (cf. exemplos na Figura 2.5)

Ra = radiação no topo da atmosfera (MJ m² dia⁻¹)

T_{max} = temperatura máxima no período (°C)

T_{min} = temperatura mínima no período (°C)

T_{mean} = temperatura média do período

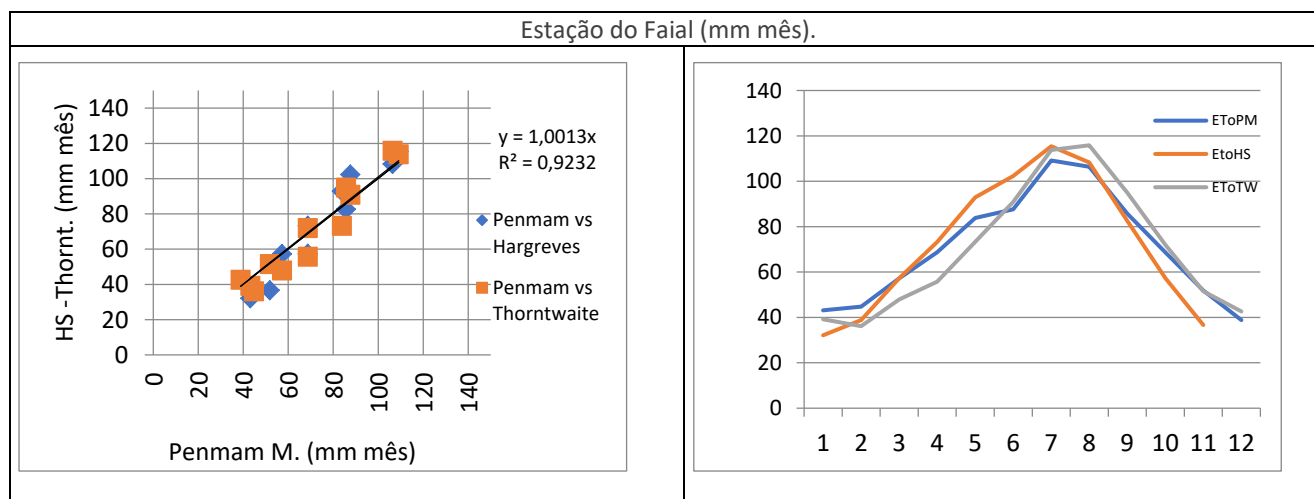


Figura 2.5_ Exemplo de Calibração do método FAO_Hargreaves & Samani vs. FAO_Penman-Monteith para o cálculo da Evapotranspiração de Referência (melhor ajustamento) – Comparação com o método de Thornthwaite

2.2.3 Água no solo

Conforme anteriormente referido, no âmbito do presente trabalho recorre-se a um valor inicial fixo da capacidade de água utilizável para todo o território igual a 120 mm. A sua variação ao longo do tempo decorre de duas situações distintas; no período de recarga do solo, em que a precipitação excede as solicitações da evapotranspiração, a recarga resulta do diferencial entre as duas variáveis até ao limite da capacidade de água utilizável, enquanto que, no período de deficit hídrico climático, a mobilização da água do solo pela vegetação ocorre de modo não linear através de uma equação de exaurimento do tipo exponencial, tal como sugerido por Lencastre & Franco (2006). Esta circunstância é explicada pelo aumento exponencial das forças de retenção de água no solo com a sua secagem.

2.2.4 Escoamento superficial e infiltração

Novamente, no âmbito do presente trabalho, e atendendo à complexidade do escoamento em territórios insulares de origem vulcânica, como é o caso dos Açores, recorre-se à generalização já proposta anteriormente por Azevedo *et al.* (2002), tendo no entanto sido atualizado o cálculo dos respetivos parâmetros, designadamente a determinação dos coeficientes de drenagem das diferentes unidades de recarga aquífera agora considerados.

De acordo com a metodologia proposta, a estimativa das componentes recarga (Rec) e escoamento (Esc) em ilhas vulcânicas é feita a partir dos valores estimados para o superavit hídrico (Sav) resultante do balanço hidrológico sequencial que envolve as variáveis precipitação (R), evapotranspiração real (ETr) e variação da reserva de água no solo (ΔR_s). As variáveis climatológicas utilizadas no balanço, nomeadamente, os valores da precipitação e da evapotranspiração são estimados a partir do modelo CIELO.

O modelo de escoamento assenta assim na afetação do superavit hídrico (Sav) que resulta do balanço hídrico sequencial à escala mensal, à relação observada entre a densidade de drenagem da bacia (Dd) e a densidade de drenagem máxima observada na ilha (Ddmax). Assim:

$$Esc = \left(a + b \frac{Dd}{Dd \max} \right) Sav$$

Na proposta original, os valores propostos para os coeficientes a e b são os de 0.06 e 0.70, podendo no entanto ser atualizados e recalibrados em função de realidades ou de informação disponível diferentes, tal como acontece no âmbito do presente trabalho em que a densidade de drenagem foi recalculada face a cartografia vetorial mais detalhada.

Da aplicação desta aproximação decorre que a recarga aquífera (Ra) para a unidade em apreciação resulta do diferencial entre as variáveis superavit (Sav) e (Esc).

$$Ra = Sav - Esc$$

Esta expressão empírica tem como fundamento conceptual a convicção clássica de que a densidade de drenagem de alguma forma reflete os diferentes condicionalismos, nomeadamente, os geomorfológicos e geológicos que determinam o escoamento superficial e a infiltração. Assim, da sua aplicação resulta o seguinte comportamento:

- a) Sempre que existe superávit (Sav) decorrente do balanço de superfície (clima e reserva útil do solo) está garantido um escoamento que, no mínimo (densidade de drenagem =0) corresponde a 6% do Sav;
- b) Quando a densidade de drenagem é igual à máxima observada (Ddmax) o escoamento atinge 76% de Sav;
- c) Entre esses dois limites a fração do Sav que escoar é condicionada pela relação Dd/Dd_{max} ;
- d) Quando Sav é nulo não existe escoamento.

2.3 Resultados do Balanço Hídrico Sequencial

Apresentam-se de seguida os resultados do Balanço Hídrico Sequencial.

CORVO	Precipitação (mm)												
AQUÍFERO	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
Vulcão da Caldeira	221.1	183.9	161.5	126.7	108.2	85.1	97.0	122.9	181.9	200.1	224.4	212.8	1925.6
Indiferenciado	152.3	133.9	103.2	81.5	66.2	51.3	57.3	69.0	100.4	117.7	137.0	141.3	1211.1
FLORES	Precipitação (mm)												
AQUÍFERO	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
Superior	474.3	440.8	302.2	246.9	224.2	178.3	117.0	197.3	277.7	356.2	457.2	457.0	3729.1
Inferior	313.1	289.2	204.4	167.9	151.5	120.7	79.1	132.0	177.7	225.3	293.7	293.0	2447.6
FAIAL	Precipitação (mm)												
AQUÍFERO	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
Capelo	163.9	136.4	117.1	100.2	88.1	80.4	58.5	90.3	153.0	162.1	178.2	173.9	1502.1
Vulcão Central	256.2	235.3	189.6	146.8	121.4	105.0	73.5	119.9	216.6	241.4	281.5	292.5	2279.7
Indiferenciado	159.4	146.6	118.5	88.3	74.2	64.4	46.5	76.6	127.1	145.4	165.2	184.1	1396.3
PICO	Precipitação (mm)												
AQUÍFERO	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
Lajes	210.2	174.8	168.0	144.2	120.0	113.8	79.3	115.5	220.7	224.5	261.7	212.6	2045.3
Achada 1	249.1	233.0	191.3	137.6	108.3	89.0	57.8	101.7	192.9	224.2	273.3	296.2	2154.4
Montanha 1	141.8	135.4	110.8	86.6	68.9	60.0	40.8	61.0	115.8	130.2	164.3	159.1	1274.7
Achada 2	306.8	263.8	220.9	175.8	151.9	134.0	97.5	164.2	273.1	299.6	328.5	341.9	2758.0
Montanha 2	360.1	333.9	269.2	206.8	169.7	147.7	102.8	169.9	310.0	342.9	403.1	417.8	3233.9
S. JORGE	Precipitação (mm)												
AQUÍFERO	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
Central	268.3	197.8	220.5	154.4	140.3	76.0	72.6	72.9	178.9	240.9	219.7	194.2	2036.5
Oriental	262.1	188.7	207.8	149.2	139.7	75.6	74.1	75.0	176.7	236.6	207.6	186.1	1979.2
GRACIOSA	Precipitação (mm)												
AQUÍFERO	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
Serra Dormida	73.0	135.7	77.7	85.8	86.6	76.7	50.2	54.1	95.0	113.3	155.1	143.1	1146.3
Stª Cruz - Guadalupe	68.2	126.8	69.4	73.6	72.3	63.0	39.4	43.2	75.6	91.5	138.0	131.6	992.6
Serra das Fontes	87.7	168.6	87.3	83.9	83.2	76.1	47.4	53.6	87.1	105.0	170.9	164.2	1215.0
Indiferenciado	70.5	129.5	68.8	76.2	73.9	64.5	40.4	43.4	78.6	95.9	146.9	136.1	1024.7
TERCEIRA	Precipitação (mm)												
AQUÍFERO	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
Cinco Picos	174.9	162.0	136.2	118.4	66.3	61.6	43.4	68.9	121.4	165.4	175.6	179.5	1473.6
Central	220.1	202.8	165.7	143.9	76.8	70.2	51.0	79.4	139.3	195.2	214.5	225.5	1784.4
Guilherme Moniz	223.7	202.4	167.5	144.2	76.1	68.8	49.5	78.1	139.3	198.6	216.7	227.7	1792.6
Pico Alto	211.8	196.5	164.4	143.0	78.0	70.6	49.5	78.8	143.2	201.3	214.2	220.6	1771.9
Santa Barbara	265.2	240.9	199.0	173.5	92.7	83.1	58.8	92.5	168.0	241.2	261.4	273.7	2150.0
S. MIGUEL	Precipitação (mm)												
AQUÍFERO	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
P. Delg. - F. da Luz	173.0	140.4	131.9	94.7	68.6	49.1	40.3	51.3	116.7	152.1	172.8	167.0	1357.9
Furnas - Povoação	193.1	155.0	148.1	106.0	75.8	54.7	44.7	56.8	131.5	173.2	195.0	185.6	1519.5
Achada	211.4	172.2	161.2	116.5	82.8	60.3	50.0	62.8	145.6	191.5	214.1	206.5	1674.9
Água de Pau	197.2	160.4	149.7	108.2	77.8	55.6	45.9	58.3	133.8	175.8	199.2	192.2	1554.1
Sete Cidades	192.6	158.5	146.3	106.7	76.6	54.7	45.7	57.9	131.7	170.8	194.4	188.6	1524.5
Nord. - F. da Terra	209.5	170.2	159.7	116.6	83.1	60.9	50.9	63.9	147.0	190.4	213.6	203.8	1669.6
Sta. MARIA	Precipitação (mm)												
AQUÍFERO	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
Sem informação	100.8	86.2	78.9	55.0	29.9	22.4	24.9	40.5	57.1	83.8	101.8	95.6	776.9
Facho - Pico Alto	167.2	140.8	128.5	91.6	49.2	37.6	43.0	70.6	102.0	148.4	178.8	161.0	1318.7
Anjos - Vila do Porto	108.5	93.0	87.1	61.4	32.7	25.1	28.4	44.9	63.4	93.1	112.1	104.3	854.0
Indiferenciado	109.2	93.3	87.4	61.4	32.4	24.5	27.5	43.9	62.3	92.1	112.6	105.4	852.0

CORVO	Evapotranspiração de referência (mm) - Hargreaves-Samani												
AQUÍFERO	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
Vulcão da Caldeira	28.2	39.0	52.8	66.8	85.0	92.5	104.6	99.9	74.5	50.8	30.8	25.5	750.4
Indiferenciado	30.6	42.3	57.1	72.4	91.6	99.2	112.3	106.7	80.0	54.8	33.1	27.6	807.6
FLORES	Evapotranspiração de referência (mm) - Hargreaves-Samani												
AQUÍFERO	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
Superior	28.7	34.6	53.2	65.5	83.8	92.6	103.4	95.8	73.1	50.5	32.3	26.4	739.9
Inferior	29.1	35.1	54.0	66.4	84.7	93.4	103.8	95.9	73.3	50.7	32.5	26.7	745.7
FAIAL	Evapotranspiração de referência (mm) - Hargreaves-Samani												
AQUÍFERO	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
Capelo	30.7	37.1	54.9	70.0	89.2	98.5	110.9	104.4	79.3	54.7	35.1	28.4	793.2
Vulcão Central	32.7	39.5	58.5	74.6	95.1	105.2	118.6	111.8	85.0	58.6	37.5	30.4	847.4
Indiferenciado	33.3	40.4	59.4	75.7	96.4	106.0	119.4	112.4	85.7	59.3	38.0	30.9	856.9
PICO	Evapotranspiração de referência (mm) - Hargreaves-Samani												
AQUÍFERO	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
Lajes	30.2	36.3	54.2	69.7	88.5	98.8	110.9	104.0	79.4	54.6	34.8	27.9	789.3
Achada 1	31.9	38.7	56.9	72.3	92.0	101.0	113.4	107.0	81.6	56.5	36.4	29.7	817.4
Montanha 1	31.8	38.3	56.8	72.4	91.9	101.4	113.8	107.0	81.4	56.4	36.3	29.4	817.1
Achada 2	28.5	34.4	50.7	64.7	82.9	91.9	103.8	98.0	74.6	51.3	32.7	26.6	740.1
Montanha 2	29.1	35.2	52.0	66.3	84.8	94.1	106.4	100.7	76.4	52.5	33.5	27.2	758.2
S. JORGE	Evapotranspiração de referência (mm) - Hargreaves-Samani												
AQUÍFERO	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
Ocidental	29.1	35.2	52.3	66.8	85.2	94.6	106.6	100.4	76.2	52.3	33.4	27.0	759.2
Oriental	28.5	34.4	51.1	65.4	83.5	92.6	104.4	98.3	74.7	51.3	32.7	26.5	743.5
GRACIOSA	Evapotranspiração de referência (mm) - Hargreaves-Samani												
AQUÍFERO	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
Serra Dormida	31.3	38.8	58.6	72.7	91.9	98.2	114.7	106.8	80.0	56.2	35.4	29.3	814.0
Stª Cruz - Guadalupe	32.6	40.4	61.0	75.6	95.1	101.4	118.0	109.8	82.5	58.1	36.8	30.4	841.6
Serra das Fontes	30.9	38.4	57.9	71.8	90.6	96.8	112.8	105.0	78.8	55.4	35.0	28.9	802.5
Indiferenciado	32.3	40.1	60.4	74.9	94.5	100.7	117.3	109.0	81.9	57.6	36.5	30.2	835.4
TERCEIRA	Evapotranspiração de referência (mm) - Hargreaves-Samani												
AQUÍFERO	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
Cinco Picos	31.0	36.9	56.5	71.4	91.0	100.1	114.1	105.7	75.4	54.7	35.3	28.5	800.6
Central	29.9	35.7	54.2	68.5	86.9	95.5	108.2	100.8	72.3	52.6	33.9	27.5	766.1
Guilherme Moniz	29.9	35.6	54.3	68.6	87.3	96.2	109.5	101.7	72.6	52.7	34.0	27.5	769.7
Pico Alto	29.4	34.9	53.5	67.7	86.5	95.6	109.6	101.5	72.1	52.1	33.5	27.0	763.5
Santa Barbara	29.3	34.9	53.3	67.3	85.7	94.8	108.4	100.8	71.9	52.0	33.4	26.9	758.5
S. MIGUEL	Evapotranspiração de referência (mm) - Hargreaves-Samani												
AQUÍFERO	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
P. Delg. - F. da Luz	36.7	44.4	65.9	82.6	104.5	112.3	126.3	119.9	92.7	65.0	42.5	34.3	927.1
Furnas - Povoação	34.7	41.8	62.1	77.9	98.9	106.7	120.1	113.9	87.9	61.7	40.2	32.4	878.3
Achada	35.7	43.0	63.9	79.9	101.7	109.4	123.0	117.1	90.6	63.5	41.4	33.4	902.6
Água de Pau	35.6	42.8	63.8	79.8	101.2	109.1	122.6	116.5	90.1	63.1	41.2	33.2	898.9
Sete Cidades	35.4	42.7	63.5	79.2	100.6	108.3	121.7	115.8	89.6	62.7	40.9	33.1	893.5
Nord. - F. da Terra	34.1	41.1	61.1	76.2	97.0	104.5	117.4	111.8	86.5	60.6	39.5	31.9	861.6
Sta. MARIA	Evapotranspiração de referência (mm) - Hargreaves-Samani												
AQUÍFERO	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
Sem informação	43.7	51.9	77.7	96.8	120.1	129.6	140.6	132.7	103.8	74.6	45.0	41.1	1057.5
Facho - Pico Alto	43.8	52.1	78.0	97.1	120.9	130.6	141.9	134.1	104.8	75.2	45.3	41.3	1065.3
Anjos - Vila do Porto	46.1	54.7	82.0	102.1	126.7	136.7	148.2	139.8	109.4	78.7	47.4	43.4	1115.1
Indiferenciado	46.3	54.9	82.4	102.6	127.3	137.3	149.0	140.5	109.9	79.0	47.7	43.5	1120.4

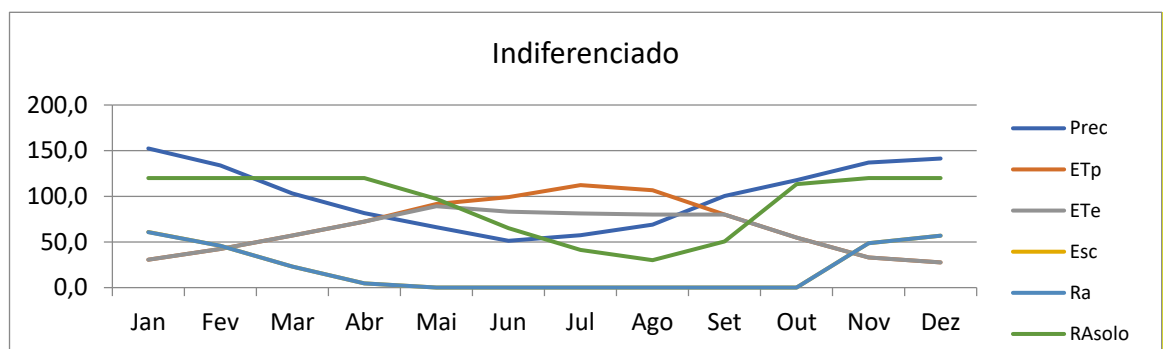
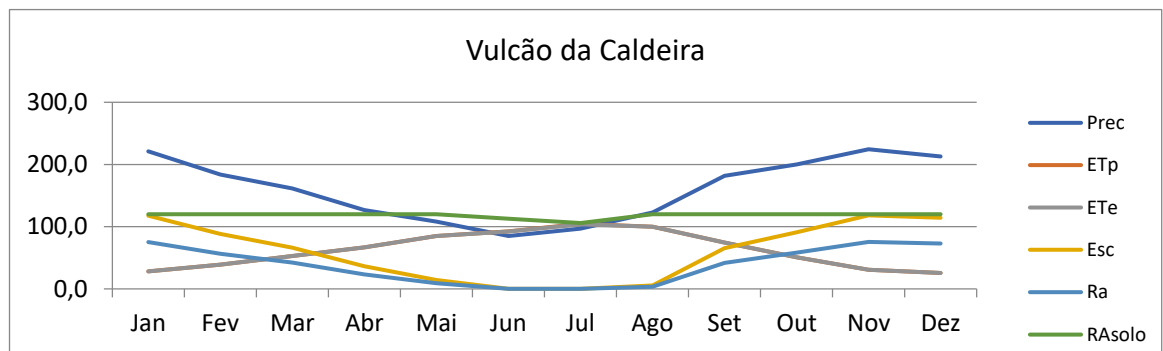
CORVO	Evapotranspiração estimada (mm) - Hargreaves-Samani												
AQUÍFERO	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
Vulcão da Caldeira	28.2	39.0	52.8	66.8	85.0	92.2	103.9	99.9	74.5	50.8	30.8	25.5	749.5
Indiferenciado	30.6	42.3	57.1	72.4	89.1	83.3	81.3	80.1	80.0	54.8	33.1	27.6	731.5
FLORES	Evapotranspiração estimada (mm) - Hargreaves-Samani												
AQUÍFERO	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
Superior	28.7	34.6	53.2	65.5	83.8	92.6	103.4	95.8	73.1	50.5	32.3	26.4	739.9
Inferior	29.1	35.1	54.0	66.4	84.7	93.4	101.5	95.9	73.3	50.7	32.5	26.7	743.4
FAIAL	Evapotranspiração estimada (mm) - Hargreaves-Samani												
AQUÍFERO	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
Capelo	30.7	37.1	54.9	70.0	89.2	97.1	94.7	97.7	79.3	54.7	35.1	28.4	768.7
Vulcão Central	32.7	39.5	58.5	74.6	95.1	105.2	111.0	111.8	85.0	58.6	37.5	30.4	839.8
Indiferenciado	33.3	40.4	59.4	75.7	94.5	93.7	78.6	86.5	85.7	59.3	38.0	30.9	775.9
PICO	Evapotranspiração estimada (mm) - Hargreaves-Samani												
AQUÍFERO	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
Lajes	30.2	36.3	54.2	69.7	88.5	98.8	107.1	104.0	79.4	54.6	34.8	27.9	785.5
Achada 1	31.9	38.7	56.9	72.3	92.0	100.4	98.1	104.6	81.6	56.5	36.4	29.7	799.1
Montanha 1	31.8	38.3	56.8	72.4	89.8	88.9	72.8	73.2	81.4	56.4	36.3	29.4	727.6
Achada 2	28.5	34.4	50.7	64.7	82.9	91.9	103.6	98.0	74.6	51.3	32.7	26.6	739.9
Montanha 2	29.1	35.2	52.0	66.3	84.8	94.1	106.4	100.7	76.4	52.5	33.5	27.2	758.1
S. JORGE	Evapotranspiração estimada (mm) - Hargreaves-Samani												
AQUÍFERO	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
Ocidental	29.1	35.2	52.3	66.8	85.2	93.3	98.0	88.7	76.2	52.3	33.4	27.0	737.5
Oriental	28.5	34.4	51.1	65.4	83.5	91.5	97.4	89.3	74.7	51.3	32.7	26.5	726.3
GRACIOSA	Evapotranspiração estimada (mm) - Hargreaves-Samani												
AQUÍFERO	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
Serra Dormida	31.3	38.8	58.6	72.7	91.8	95.6	90.1	74.0	80.0	56.2	35.4	29.3	753.8
Stª Cruz - Guadalupe	32.6	40.4	61.0	75.6	93.0	90.4	74.5	59.8	77.6	58.1	36.8	30.4	730.0
Serra das Fontes	30.9	38.4	57.9	71.8	90.4	94.0	87.3	72.8	78.8	55.4	35.0	28.9	741.6
Indiferenciado	32.3	40.1	60.4	74.9	92.8	90.8	75.7	59.9	79.2	57.6	36.5	30.2	730.6
TERCEIRA	Evapotranspiração estimada (mm) - Hargreaves-Samani												
AQUÍFERO	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
Cinco Picos	31.0	36.9	56.5	71.4	88.6	88.4	75.0	79.2	75.4	54.7	35.3	28.5	721.0
Central	29.9	35.7	54.2	68.5	86.5	91.2	84.9	88.5	72.3	52.6	33.9	27.5	725.7
Guilherme Moniz	29.9	35.6	54.3	68.6	86.8	91.1	83.7	87.5	72.6	52.7	34.0	27.5	724.3
Pico Alto	29.4	34.9	53.5	67.7	86.3	91.7	85.3	88.3	72.1	52.1	33.5	27.0	721.7
Santa Barbara	29.3	34.9	53.3	67.3	85.7	94.2	95.6	97.3	71.9	52.0	33.4	26.9	741.7
S. MIGUEL	Evapotranspiração estimada (mm) - Hargreaves-Samani												
AQUÍFERO	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
P. Delg. - F. da Luz	36.7	44.4	65.9	82.6	99.7	85.5	67.2	62.4	92.7	65.0	42.5	34.3	778.8
Furnas - Povoação	34.7	41.8	62.1	77.9	96.8	89.5	74.6	69.7	87.9	61.7	40.2	32.4	769.3
Achada	35.7	43.0	63.9	79.9	100.3	94.7	81.1	76.3	90.6	63.5	41.4	33.4	803.7
Água de Pau	35.6	42.8	63.8	79.8	99.1	91.1	75.8	71.1	90.1	63.1	41.2	33.2	786.6
Sete Cidades	35.4	42.7	63.5	79.2	98.4	90.1	75.2	70.6	89.6	62.7	40.9	33.1	781.3
Nord. - F. da Terra	34.1	41.1	61.1	76.2	96.2	93.4	82.5	78.0	86.5	60.6	39.5	31.9	781.2
Sta. MARIA	Evapotranspiração estimada (mm) - Hargreaves-Samani												
AQUÍFERO	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
Sem informação	43.7	51.9	77.7	90.3	74.7	46.0	35.0	43.8	58.0	74.6	45.0	41.1	681.8
Facho - Pico Alto	43.8	52.1	78.0	97.0	100.7	71.6	59.3	75.8	102.2	75.2	45.3	41.3	842.5
Anjos - Vila do Porto	46.1	54.7	82.0	95.9	79.2	48.7	38.2	48.0	64.3	78.7	47.4	43.4	726.6
Indiferenciado	46.3	54.9	82.4	96.3	78.9	48.0	37.1	46.9	63.1	79.0	47.7	43.5	724.1

CORVO		Reserva de água útil no solo												
AQUÍFERO	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano	
Vulcão da Caldeira	120.0	120.0	120.0	120.0	120.0	112.9	105.9	120.0	120.0	120.0	120.0	120.0	1418.8	
Indiferenciado	120.0	120.0	120.0	120.0	97.2	65.2	41.2	30.1	50.5	113.4	120.0	120.0	1117.5	
FLORES		Reserva de água útil no solo												
AQUÍFERO	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano	
Superior	120.0	120.0	120.0	120.0	120.0	120.0	120.0	120.0	120.0	120.0	120.0	120.0	1440.0	
Inferior	120.0	120.0	120.0	120.0	120.0	120.0	97.8	120.0	120.0	120.0	120.0	120.0	1417.8	
FAIAL		Reserva de água útil no solo												
AQUÍFERO	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano	
Capelo	120.0	120.0	120.0	120.0	119.0	102.3	66.1	58.7	120.0	120.0	120.0	120.0	1306.2	
Vulcão Central	120.0	120.0	120.0	120.0	120.0	119.8	82.3	90.4	120.0	120.0	120.0	120.0	1372.5	
Indiferenciado	120.0	120.0	120.0	120.0	99.7	70.5	38.4	28.5	70.0	120.0	120.0	120.0	1147.1	
PICO		Reserva de água útil no solo												
AQUÍFERO	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano	
Lajes	120.0	120.0	120.0	120.0	120.0	120.0	92.2	103.7	120.0	120.0	120.0	120.0	1395.9	
Achada 1	120.0	120.0	120.0	120.0	120.0	108.5	68.3	65.4	120.0	120.0	120.0	120.0	1322.2	
Montanha 1	120.0	120.0	120.0	120.0	99.1	70.2	38.2	26.0	60.4	120.0	120.0	120.0	1133.8	
Achada 2	120.0	120.0	120.0	120.0	120.0	120.0	113.8	120.0	120.0	120.0	120.0	120.0	1433.8	
Montanha 2	120.0	120.0	120.0	120.0	120.0	120.0	116.5	120.0	120.0	120.0	120.0	120.0	1436.5	
S. JORGE		Reserva de água útil no solo												
AQUÍFERO	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano	
Ocidental	120.0	120.0	120.0	120.0	120.0	102.7	77.4	61.5	120.0	120.0	120.0	120.0	1321.6	
Oriental	120.0	120.0	120.0	120.0	120.0	104.1	80.9	66.6	120.0	120.0	120.0	120.0	1331.6	
GRACIOSA		Reserva de água útil no solo												
AQUÍFERO	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano	
Serra Dormida	120.0	120.0	120.0	120.0	114.8	95.9	56.0	36.1	51.1	108.2	120.0	120.0	1182.2	
Stª Cruz - Guadalupe	120.0	120.0	120.0	118.7	98.7	72.2	37.7	21.7	20.7	55.1	120.0	120.0	1024.8	
Serra das Fontes	120.0	120.0	120.0	120.0	112.8	94.9	55.0	35.8	44.1	93.8	120.0	120.0	1156.5	
Indiferenciado	120.0	120.0	120.0	120.0	101.1	74.8	39.4	22.8	22.2	60.4	120.0	120.0	1040.6	
TERCEIRA		Reserva de água útil no solo												
AQUÍFERO	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano	
Cinco Picos	120.0	120.0	120.0	120.0	97.7	70.8	39.3	28.9	74.9	120.0	120.0	120.0	1151.7	
Central	120.0	120.0	120.0	120.0	110.3	89.3	55.4	46.4	113.4	120.0	120.0	120.0	1254.9	
Guilherme Moniz	120.0	120.0	120.0	120.0	109.3	87.0	52.8	43.4	110.1	120.0	120.0	120.0	1242.6	
Pico Alto	120.0	120.0	120.0	120.0	111.8	90.8	55.0	45.5	116.6	120.0	120.0	120.0	1259.7	
Santa Barbara	120.0	120.0	120.0	120.0	120.0	108.9	72.1	67.2	120.0	120.0	120.0	120.0	1328.2	
S. MIGUEL		Reserva de água útil no solo												
AQUÍFERO	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano	
P. Delg. - F. da Luz	120.0	120.0	120.0	120.0	88.9	52.5	25.7	14.5	38.5	120.0	120.0	120.0	1060.0	
Furnas - Povoação	120.0	120.0	120.0	120.0	98.9	64.2	34.2	21.2	64.8	120.0	120.0	120.0	1123.4	
Achada	120.0	120.0	120.0	120.0	102.6	68.1	37.1	23.6	78.6	120.0	120.0	120.0	1149.9	
Água de Pau	120.0	120.0	120.0	120.0	98.7	63.2	33.4	20.6	64.3	120.0	120.0	120.0	1120.2	
Sete Cidades	120.0	120.0	120.0	120.0	98.2	62.8	33.3	20.6	62.7	120.0	120.0	120.0	1117.7	
Nord. - F. da Terra	120.0	120.0	120.0	120.0	106.8	74.3	42.7	28.7	89.1	120.0	120.0	120.0	1181.7	
Sta. MARIA		Reserva de água útil no solo												
AQUÍFERO	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano	
Sem informação	120.0	120.0	120.0	84.7	39.9	16.3	6.2	2.9	2.0	11.2	68.0	120.0	711.2	
Facho - Pico Alto	120.0	120.0	120.0	114.6	63.1	29.0	12.7	7.5	7.3	80.5	120.0	120.0	914.8	
Anjos - Vila do Porto	120.0	120.0	120.0	85.5	39.1	15.4	5.7	2.6	1.8	16.3	81.1	120.0	727.3	
Indiferenciado	120.0	120.0	120.0	85.2	38.6	15.1	5.5	2.4	1.6	14.8	79.7	120.0	723.0	

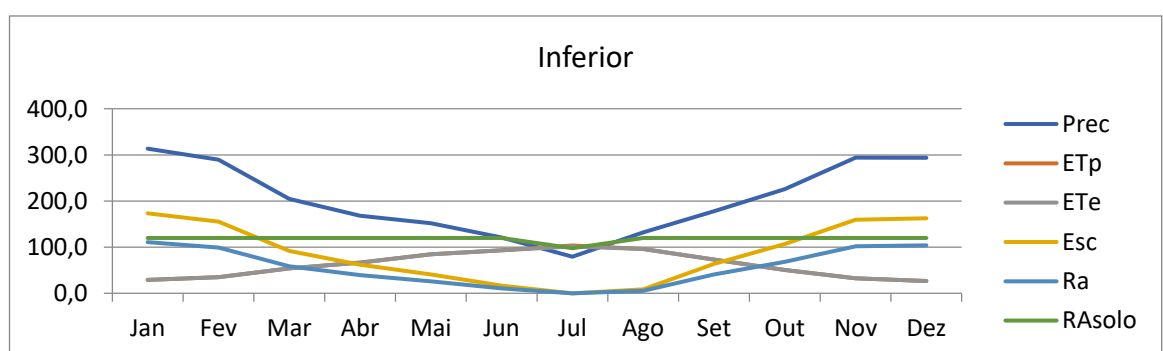
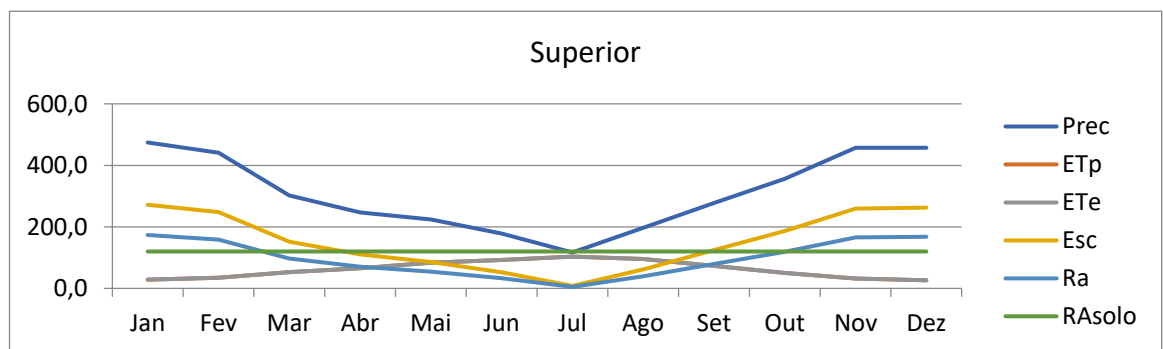
CORVO	Escoamento superficial e sub-superficial (mm)												
AQUÍFERO	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
Vulcão da Caldeira	117.7	88.4	66.3	36.5	14.2	0.0	0.0	5.5	65.5	91.0	118.1	114.3	717.5
Indiferenciado	60.9	45.9	23.1	4.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	48.6	56.9	240.0
FLORES	Escoamento superficial e sub-superficial (mm)												
AQUÍFERO	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
Superior	272.0	247.9	151.9	110.8	85.7	52.3	8.3	62.0	124.8	186.6	259.4	262.9	1824.7
Inferior	173.6	155.3	91.9	62.1	40.9	16.8	0.0	8.6	63.9	106.8	159.6	162.8	1042.4
FAIAL	Escoamento superficial e sub-superficial (mm)												
AQUÍFERO	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
Capelo	14.0	10.4	6.5	3.2	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	11.3	15.0	15.3	77.0
Vulcão Central	145.1	127.1	85.1	46.9	17.0	0.0	0.0	0.0	66.3	118.7	158.4	170.2	934.8
Indiferenciado	93.3	78.6	43.8	9.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	26.7	94.1	113.4	459.3
PICO	Escoamento superficial e sub-superficial (mm)												
AQUÍFERO	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
Lajes	103.8	79.9	65.6	43.0	18.1	8.6	0.0	0.0	72.1	98.0	130.9	106.6	726.6
Achada 1	132.4	118.5	82.0	39.9	9.9	0.0	0.0	0.0	34.6	102.3	144.5	162.6	826.7
Montanha 1	31.5	27.8	15.4	4.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.1	36.6	37.1	156.5
Achada 2	142.3	117.3	87.0	56.8	35.3	21.5	0.0	30.7	101.5	127.0	151.2	161.2	1031.9
Montanha 2	66.0	59.6	43.3	28.0	16.9	10.7	0.0	13.1	46.6	57.9	73.7	77.9	493.9
S. JORGE	Escoamento superficial e sub-superficial (mm)												
AQUÍFERO	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
Ocidental	89.7	61.0	63.1	32.9	20.7	0.0	0.0	0.0	16.6	70.7	69.9	62.7	487.2
Oriental	107.4	70.9	72.1	38.6	25.9	0.0	0.0	0.0	22.4	85.2	80.4	73.4	576.4
GRACIOSA	Escoamento superficial e sub-superficial (mm)												
AQUÍFERO	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
Serra Dormida	19.3	44.9	8.9	6.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	50.0	52.8	182.1
Stª Cruz - Guadalupe	7.9	19.1	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.2	22.2	59.5
Serra das Fontes	25.2	57.9	13.1	5.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	48.8	60.1	210.4
Indiferenciado	21.4	50.1	4.7	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	28.4	59.4	164.7
TERCEIRA	Escoamento superficial e sub-superficial (mm)												
AQUÍFERO	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
Cinco Picos	62.5	54.3	34.7	20.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	28.5	61.0	65.6	327.1
Central	135.0	118.6	79.1	53.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	96.5	128.2	140.5	751.6
Guilherme Moniz	89.8	77.3	52.5	35.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	63.0	84.7	92.8	495.3
Pico Alto	78.8	69.7	47.8	32.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	62.9	78.0	83.6	453.3
Santa Barbara	144.7	126.4	89.4	65.1	4.3	0.0	0.0	0.0	26.6	116.1	139.9	151.4	863.9
S. MIGUEL	Escoamento superficial e sub-superficial (mm)												
AQUÍFERO	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
P. Delg. - F. da Luz	26.8	18.9	13.0	2.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	25.7	26.2	114.1
Furnas - Povoação	88.7	63.4	48.2	15.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	31.6	86.7	85.8	420.1
Achada	87.8	64.5	48.6	18.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	43.3	86.3	86.5	435.1
Água de Pau	65.6	47.7	34.9	11.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	23.1	64.2	64.5	311.5
Sete Cidades	82.9	61.1	43.7	14.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	26.7	80.9	82.0	391.7
Nord. - F. da Terra	81.5	59.9	45.8	18.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	45.9	80.8	79.8	412.5
Sta. MARIA	Escoamento superficial e sub-superficial (mm)												
AQUÍFERO	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
Sem informação	6.8	4.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	11.3
Facho - Pico Alto	68.3	49.1	28.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	52.1	66.3	263.9
Anjos - Vila do Porto	28.1	17.2	2.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.9	57.5
Indiferenciado	35.3	21.5	2.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.1	71.6

CORVO		Recarga aquífera (mm)														
AQUÍFERO	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano	Área (km2)	Ra (hm3)	
Vulcão da Caldeira	75.2	56.5	42.4	23.3	9.1	0.0	0.0	3.5	41.9	58.2	75.5	73.0	458.7	16.39	7.52	
Indiferenciado	60.8	45.8	23.1	4.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	48.6	56.8	239.6	0.73	0.17	
FLORES		Recarga aquífera (mm)														
AQUÍFERO	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano	Área (km2)	Ra (hm3)	
Superior	173.9	158.5	97.1	70.8	54.8	33.4	5.3	39.6	79.8	119.3	165.8	168.1	1166.6	132.00	153.99	
Inferior	111.0	99.3	58.8	39.7	26.2	10.7	0.0	5.5	40.9	68.3	102.1	104.1	666.5	9.00	6.00	
FAIAL		Recarga aquífera (mm)														
AQUÍFERO	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano	Área (km2)	Ra (hm3)	
Capelo	119.3	88.9	55.7	27.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.1	96.1	128.1	130.2	656.4	27.10	17.79	
Vulcão Central	78.4	68.7	46.0	25.3	9.2	0.0	0.0	0.0	35.8	64.1	85.6	92.0	505.0	134.28	67.81	
Indiferenciado	32.8	27.6	15.4	3.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.4	33.1	39.8	161.4	11.69	1.89	
PICO		Recarga aquífera (mm)														
AQUÍFERO	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano	Área (km2)	Ra (hm3)	
Lajes	76.2	58.6	48.1	31.5	13.3	6.3	0.0	0.0	52.9	71.9	96.0	78.2	533.0	17.27	9.21	
Achada 1	84.7	75.8	52.4	25.5	6.4	0.0	0.0	0.0	22.1	65.4	92.4	103.9	528.5	49.87	26.36	
Montanha 1	78.6	69.3	38.5	10.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.2	91.4	92.6	390.6	101.68	39.72	
Achada 2	136.0	112.1	83.1	54.3	33.8	20.5	0.0	29.4	97.0	121.4	144.5	154.1	986.1	105.01	103.55	
Montanha 2	265.0	239.1	173.9	112.5	68.0	42.9	0.0	52.6	187.0	232.4	295.8	312.6	1981.8	171.14	339.16	
S. JORGE		Recarga aquífera (mm)														
AQUÍFERO	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano	Área (km2)	Ra (hm3)	
Ocidental	149.5	101.6	105.1	54.8	34.4	0.0	0.0	0.0	27.6	117.8	116.4	104.5	811.7	148.94	120.90	
Oriental	126.1	83.3	84.6	45.3	30.4	0.0	0.0	0.0	26.2	100.1	94.4	86.2	676.6	94.71	64.08	
GRACIOSA		Recarga aquífera (mm)														
AQUÍFERO	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano	Área (km2)	Ra (hm3)	
Serra Dormida	22.4	52.0	10.3	7.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	57.8	61.0	210.5	4.20	0.88	
Stª Cruz - Guadalupe	29.0	69.8	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	30.0	81.0	217.2	37.69	8.19	
Serra das Fontes	31.5	72.4	16.3	6.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	60.9	75.1	263.0	1.95	0.51	
Indiferenciado	16.8	39.3	3.7	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	22.3	46.6	129.4	17.33	2.24	
TERCEIRA		Recarga aquífera (mm)														
AQUÍFERO	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano	Área (km2)	Ra (hm3)	
Cinco Picos	81.4	70.7	45.1	26.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	37.1	79.3	85.3	425.5	54.69	23.27	
Central	55.2	48.5	32.3	21.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	39.4	52.4	57.4	307.0	24.10	7.40	
Guilherme Moniz	104.0	89.5	60.7	40.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	73.0	98.1	107.4	573.2	135.19	77.50	
Pico Alto	103.7	91.8	63.0	42.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	82.9	102.7	110.1	597.0	85.69	51.16	
Santa Barbara	91.2	79.6	56.3	41.0	2.7	0.0	0.0	0.0	16.7	73.1	88.1	95.4	544.3	100.94	54.94	
S. MIGUEL		Recarga aquífera (mm)														
AQUÍFERO	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano	Área (km2)	Ra (hm3)	
P. Delg. - F. da Luz	109.4	77.1	53.0	9.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.5	104.7	106.5	464.9	196.71	91.45	
Furnas - Povoação	69.7	49.8	37.9	12.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	24.8	68.1	67.4	330.1	90.81	29.97	
Achada	88.0	64.7	48.7	18.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	43.4	86.5	86.7	436.2	71.62	31.24	
Água de Pau	96.0	69.8	51.0	16.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	33.8	93.9	94.4	455.9	133.61	60.91	
Sete Cidades	74.3	54.8	39.2	13.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	24.0	72.6	73.5	351.3	86.05	30.23	
Nord. - F. da Terra	94.0	69.2	52.8	21.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	53.0	93.3	92.1	475.9	165.69	78.85	
Sta. MARIA		Recarga aquífera (mm)														
AQUÍFERO	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano	Área (km2)	Ra (hm3)	
Sem informação	50.3	30.2	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.3	83.9	2.13	0.18	
Facho - Pico Alto	55.0	39.6	22.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	41.9	53.4	212.4	72.11	15.32	
Anjos - Vila do Porto	34.5	21.1	2.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.2	70.6	17.02	1.20	
Indiferenciado	27.7	16.9	2.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.5	56.3	5.89	0.33	

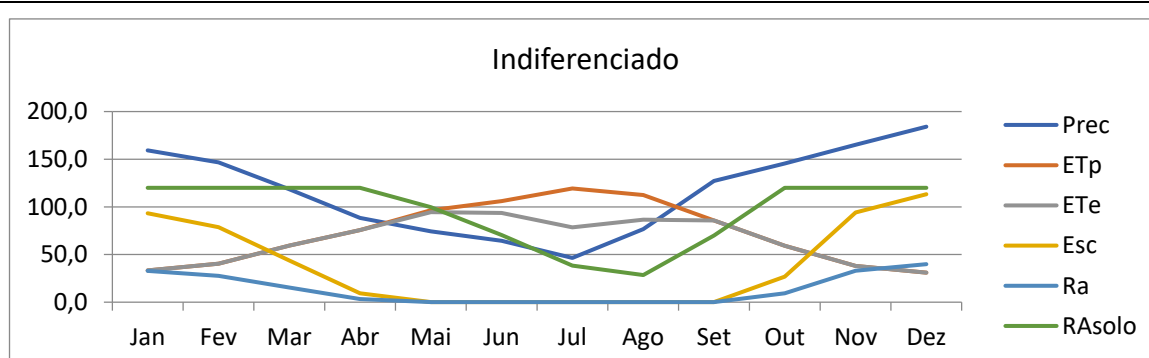
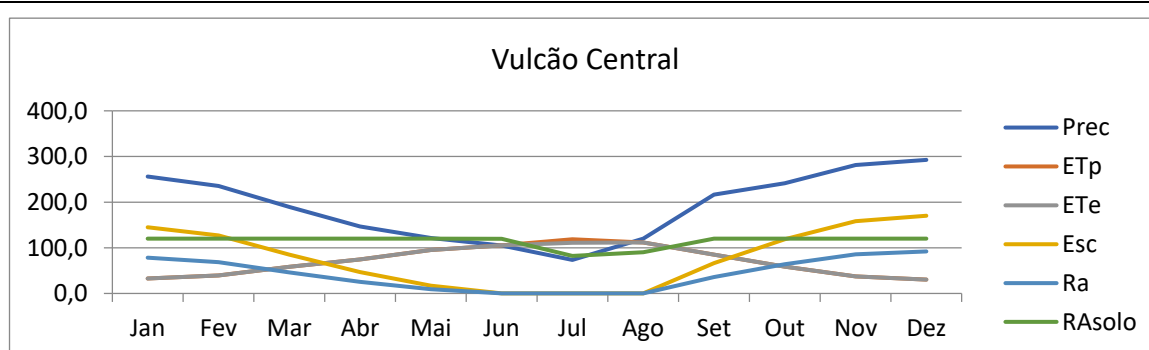
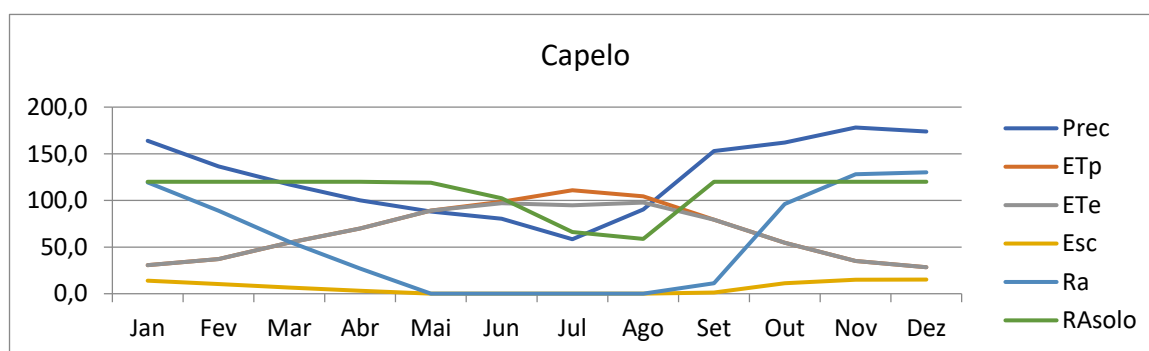
Corvo – Balanços



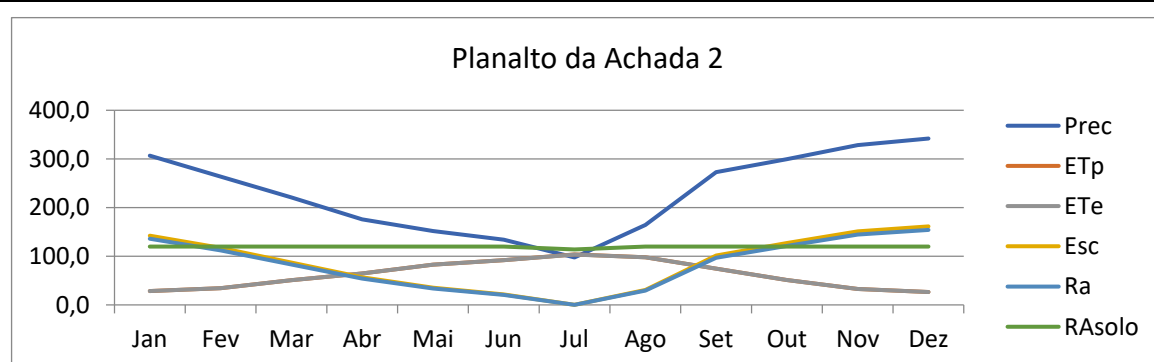
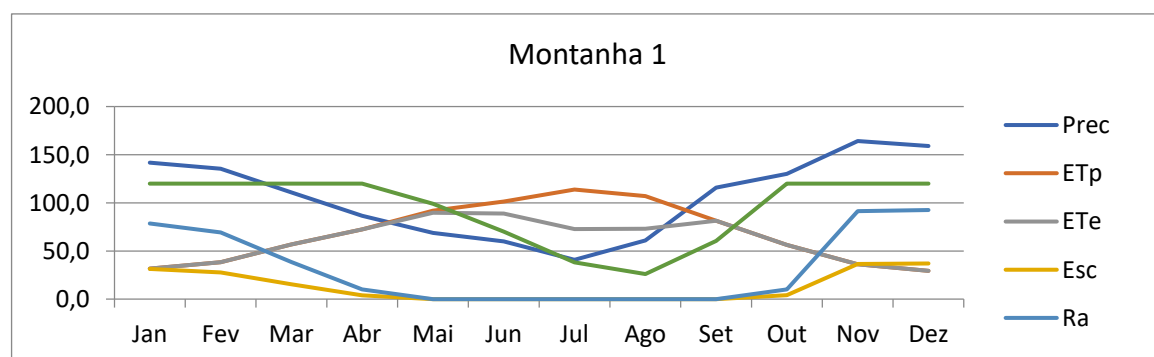
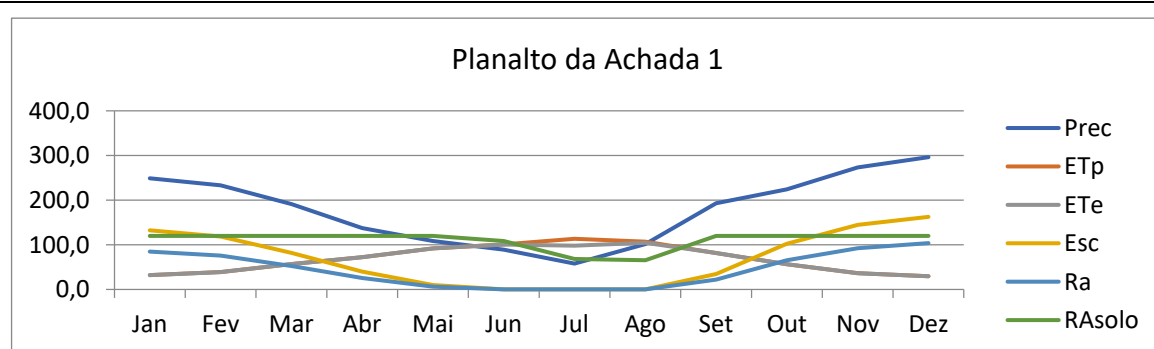
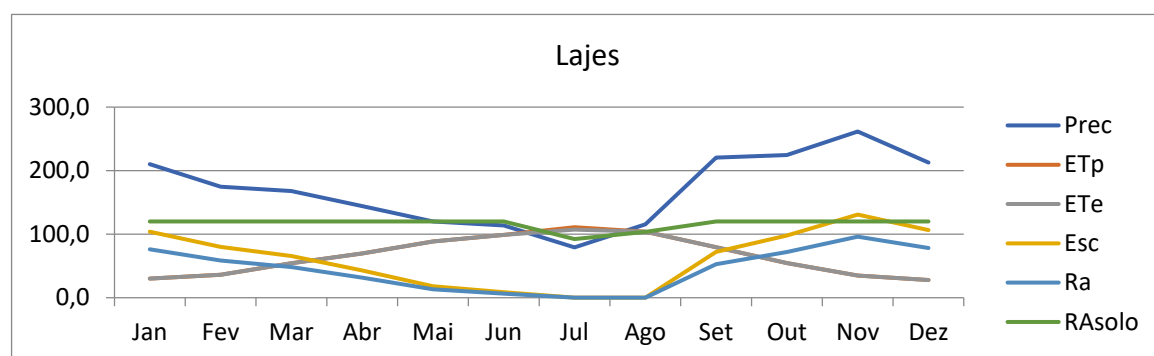
Flores – Balanços

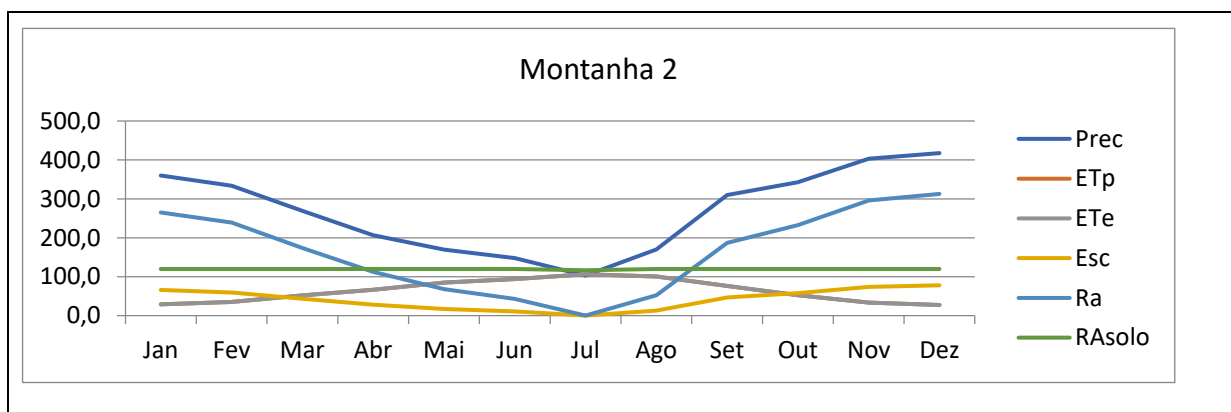


Faial – Balanços

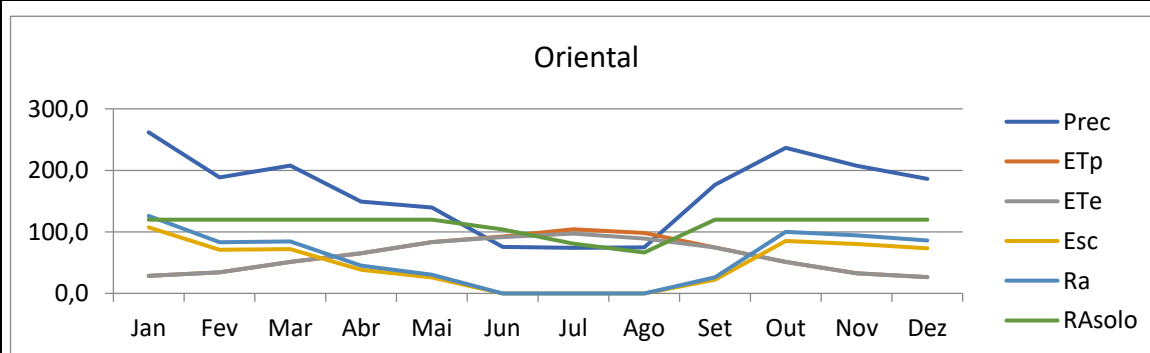
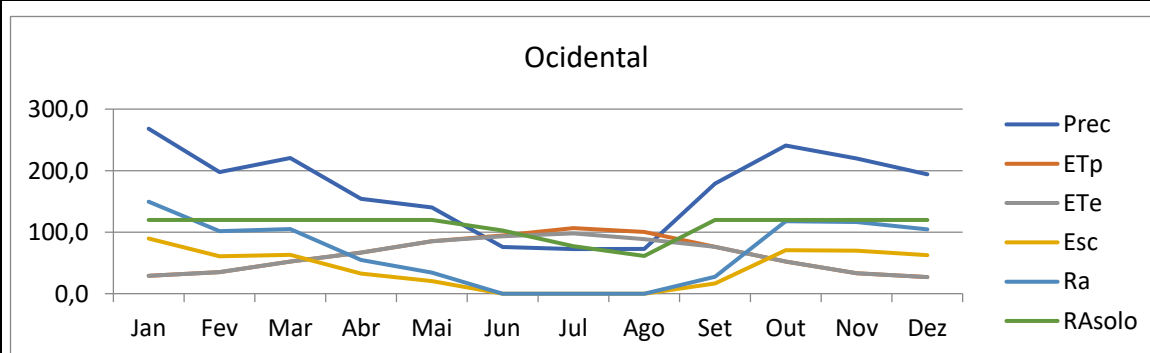


Pico – Balanços

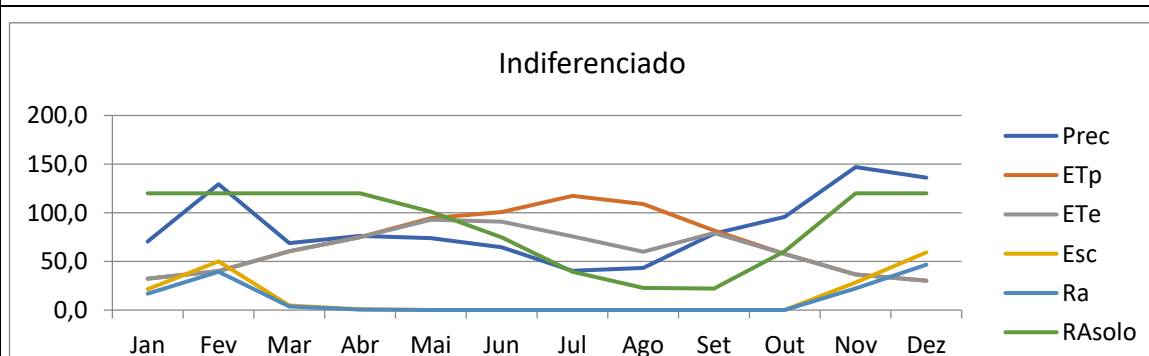
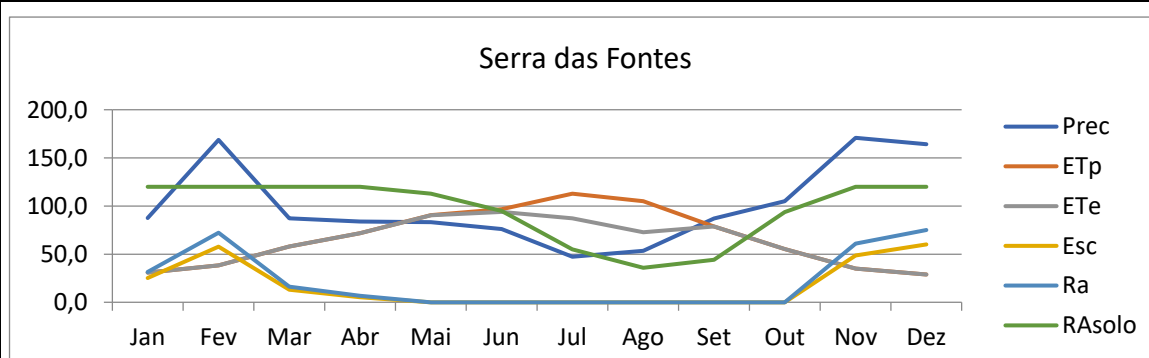
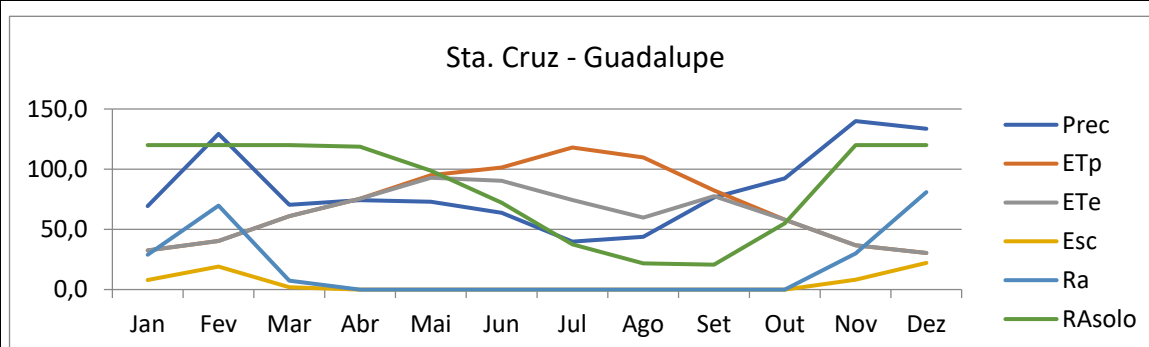
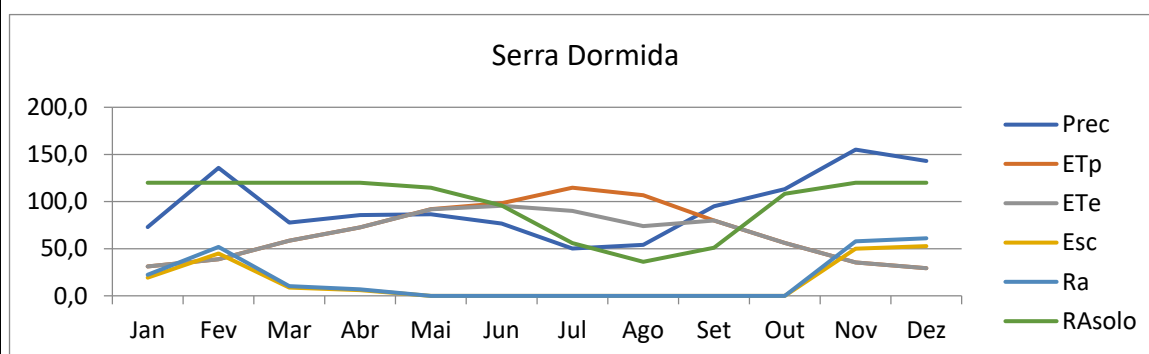




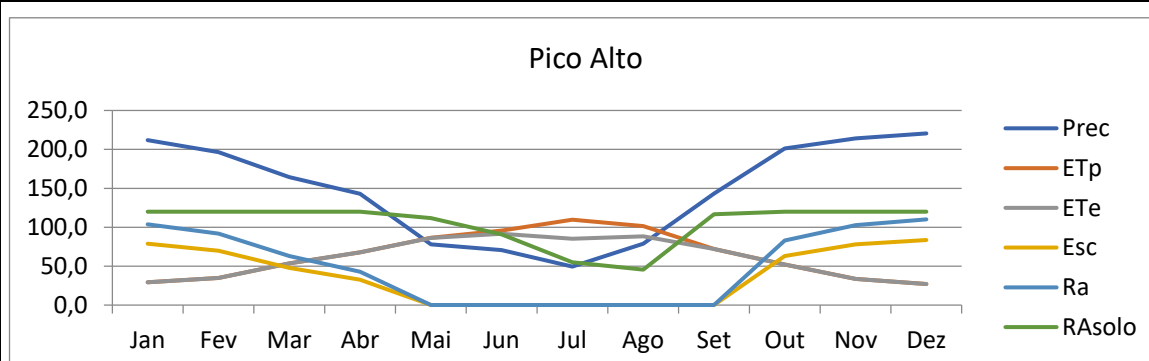
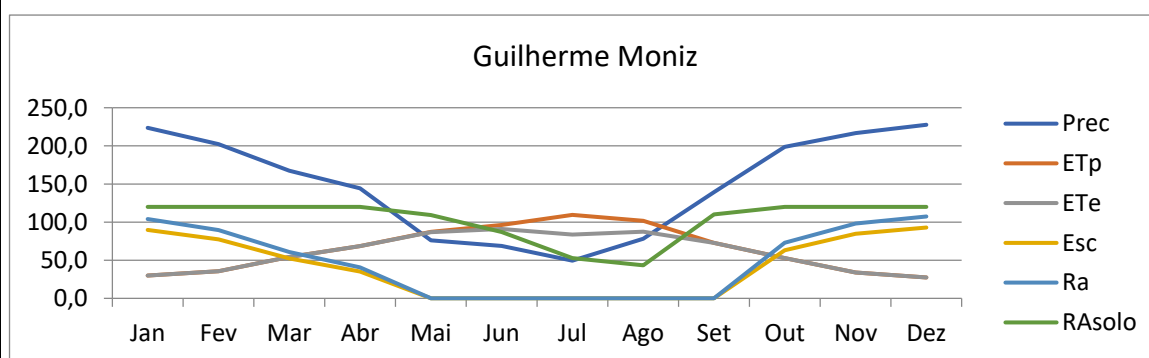
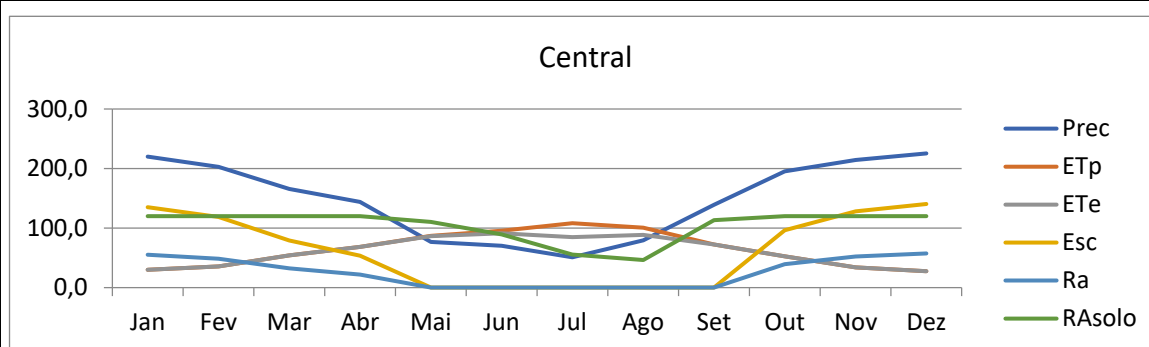
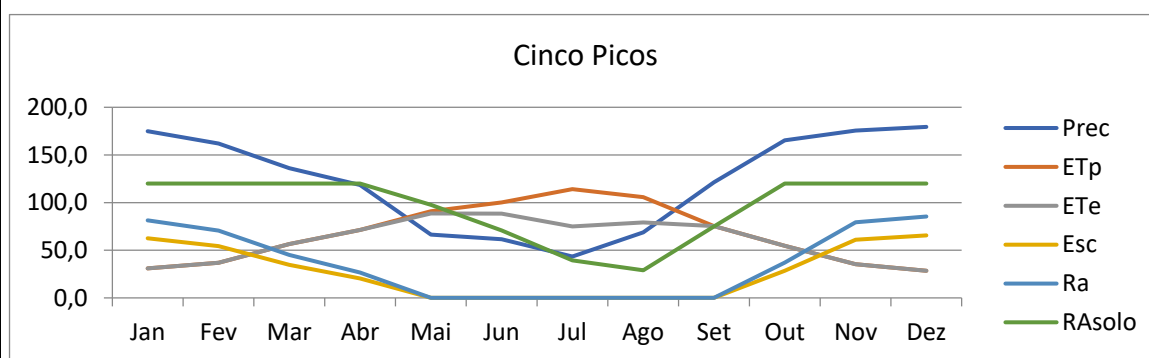
S. Jorge – Balanços

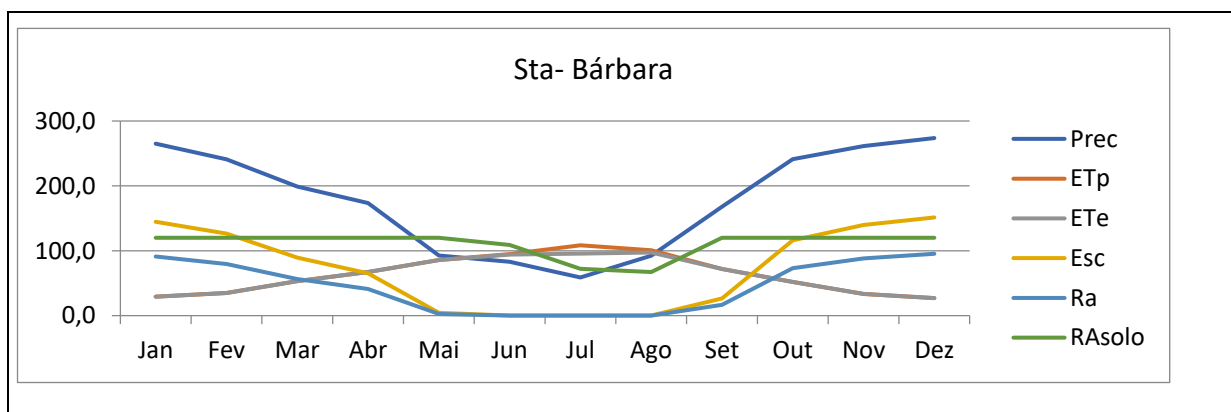


Graciosa – Balanços

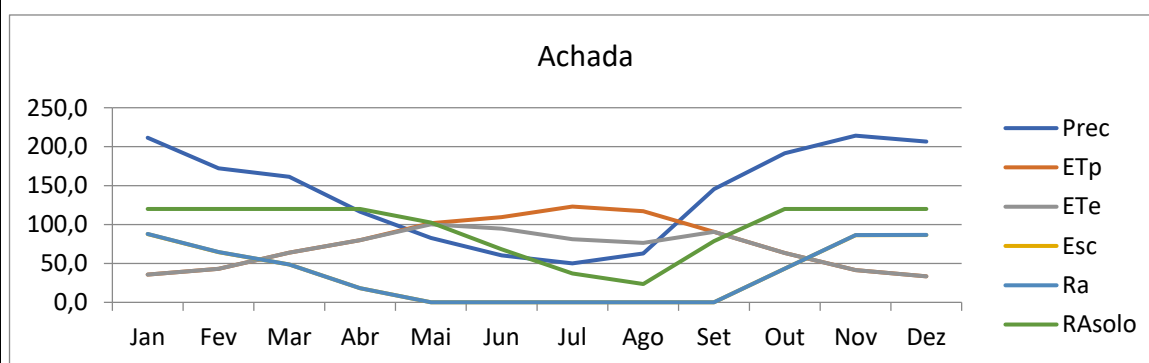
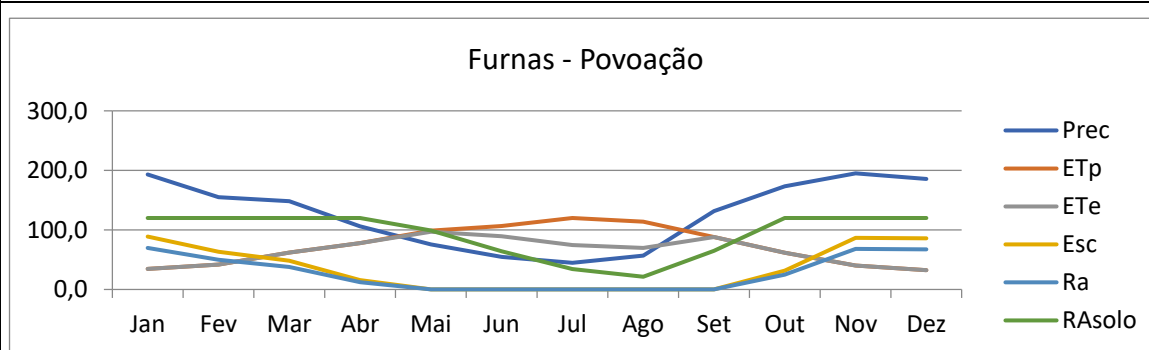
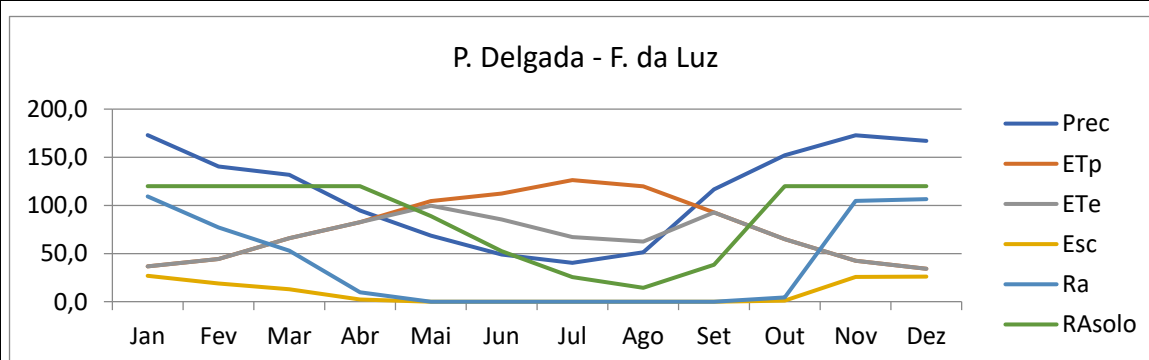


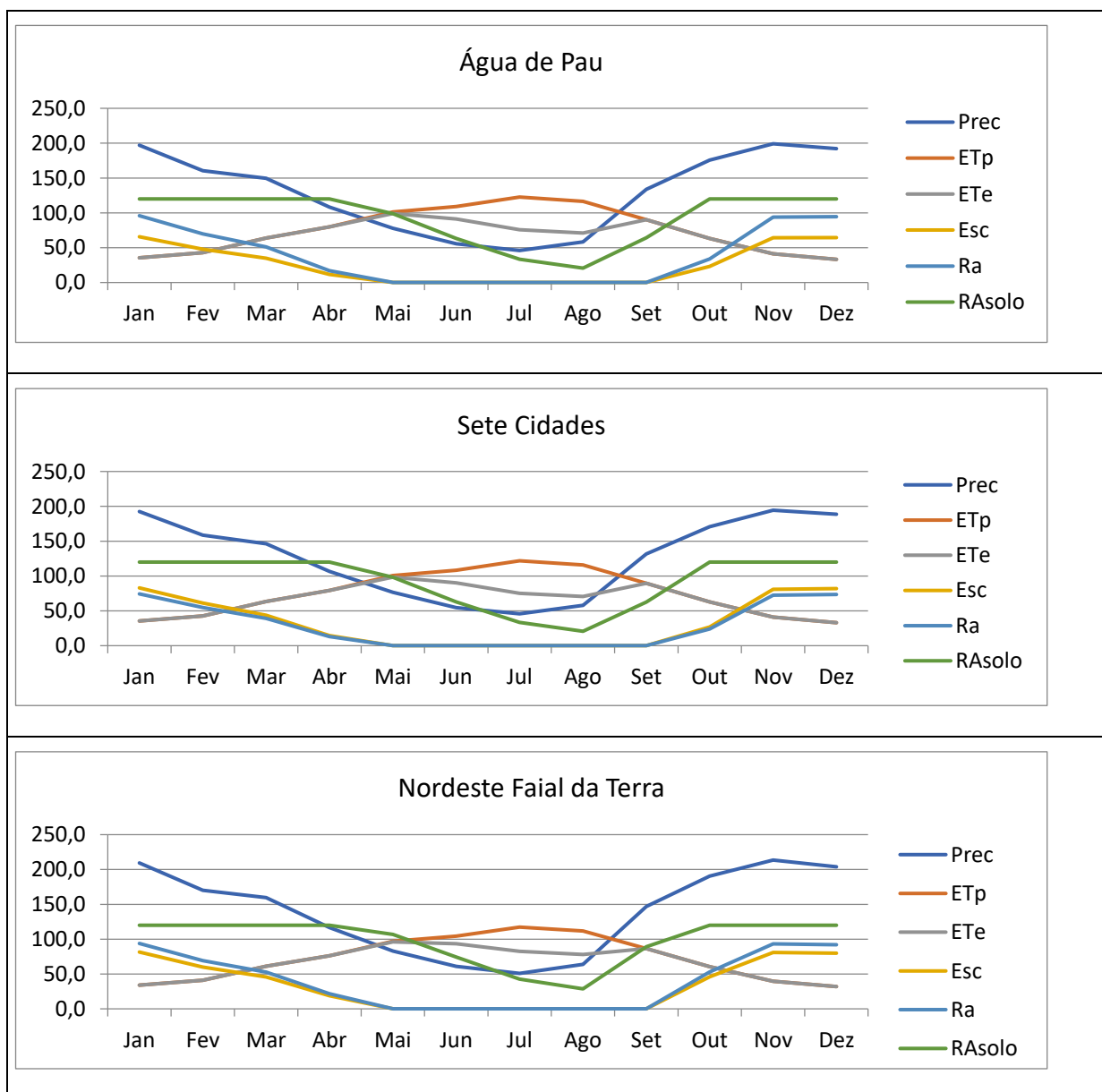
Terceira – Balanços



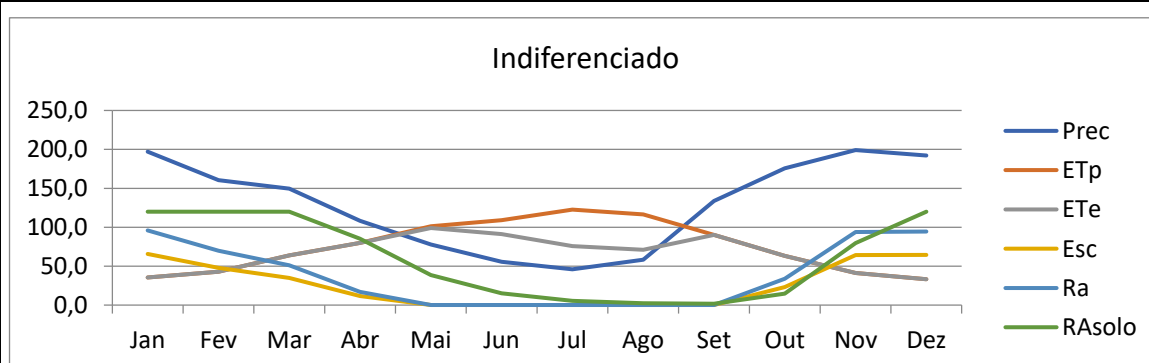
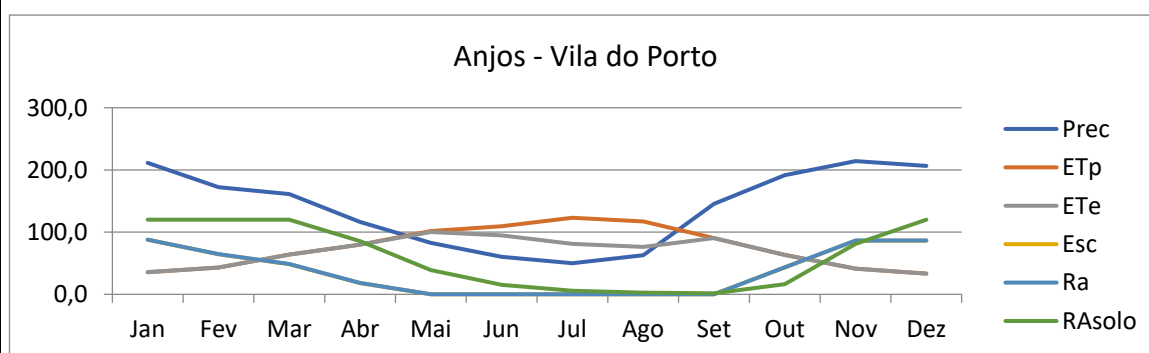
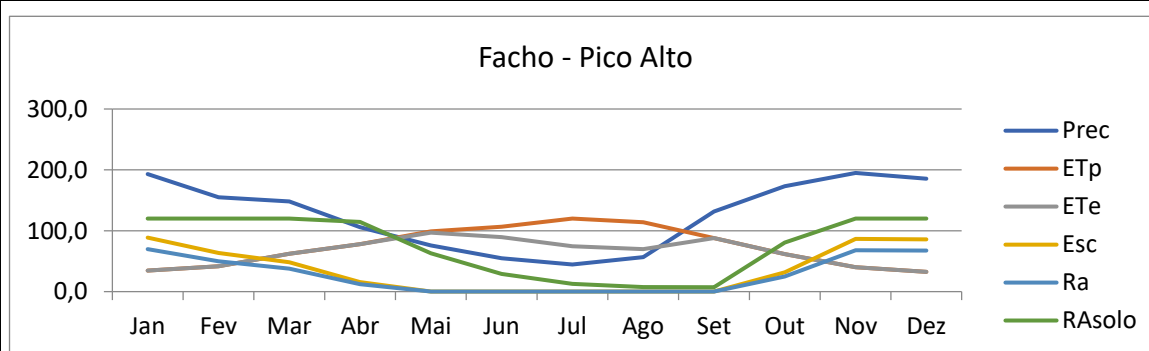
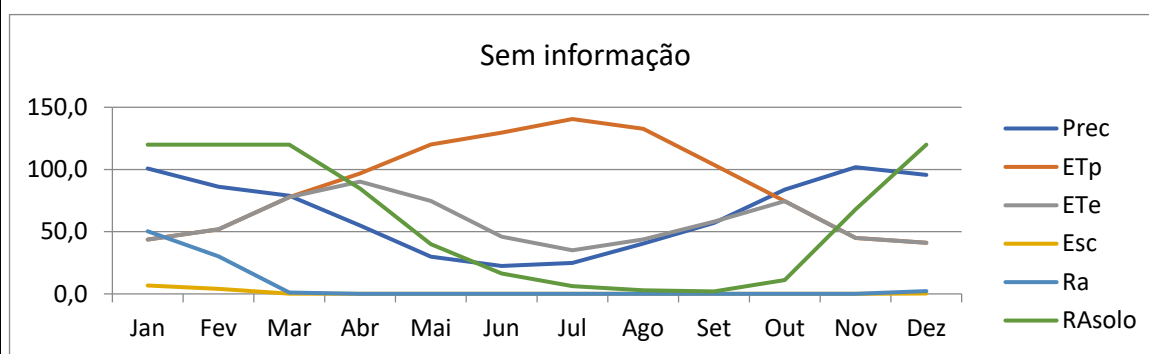


S. Miguel - Balanços





Sta. Maria - Balanços



2.4. Cartografia

Os resultados obtidos no ponto anterior são, assim, passíveis da espacialização apresentada nas figuras seguintes e com maior detalhe no Anexo.

2.4.1. Corvo

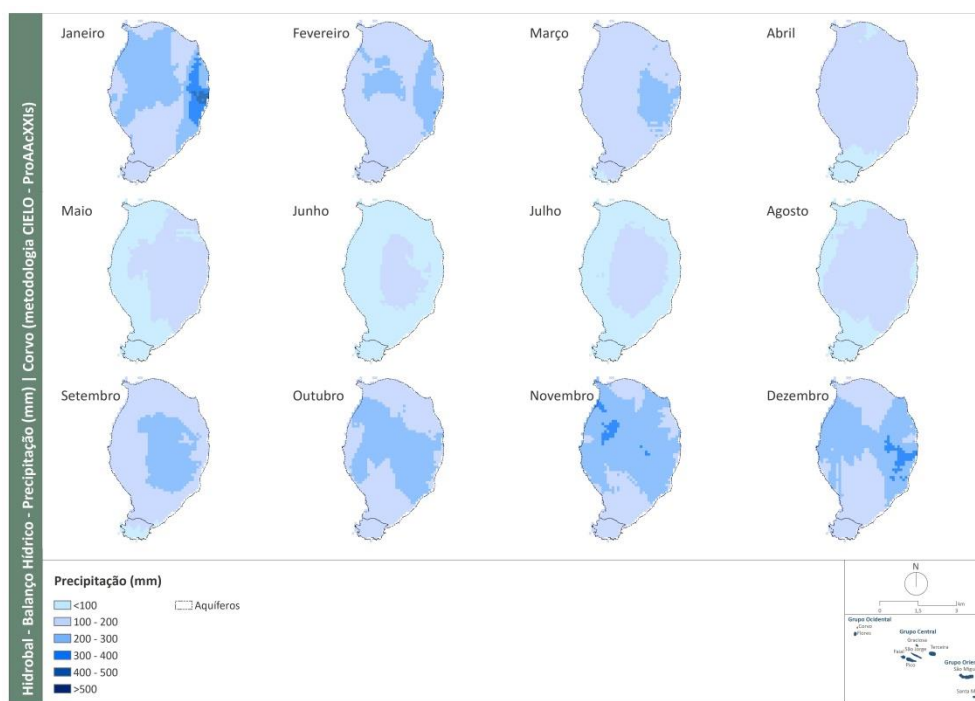


Figura 2.6_ Precipitação – ilha do Corvo (metodologia CIELO – ProAAcXXIs)



Figura 2.7_ Evapotranspiração efetiva – ilha do Corvo (metodologia CIELO – ProAAcXXIs)

2.4.2. Flores

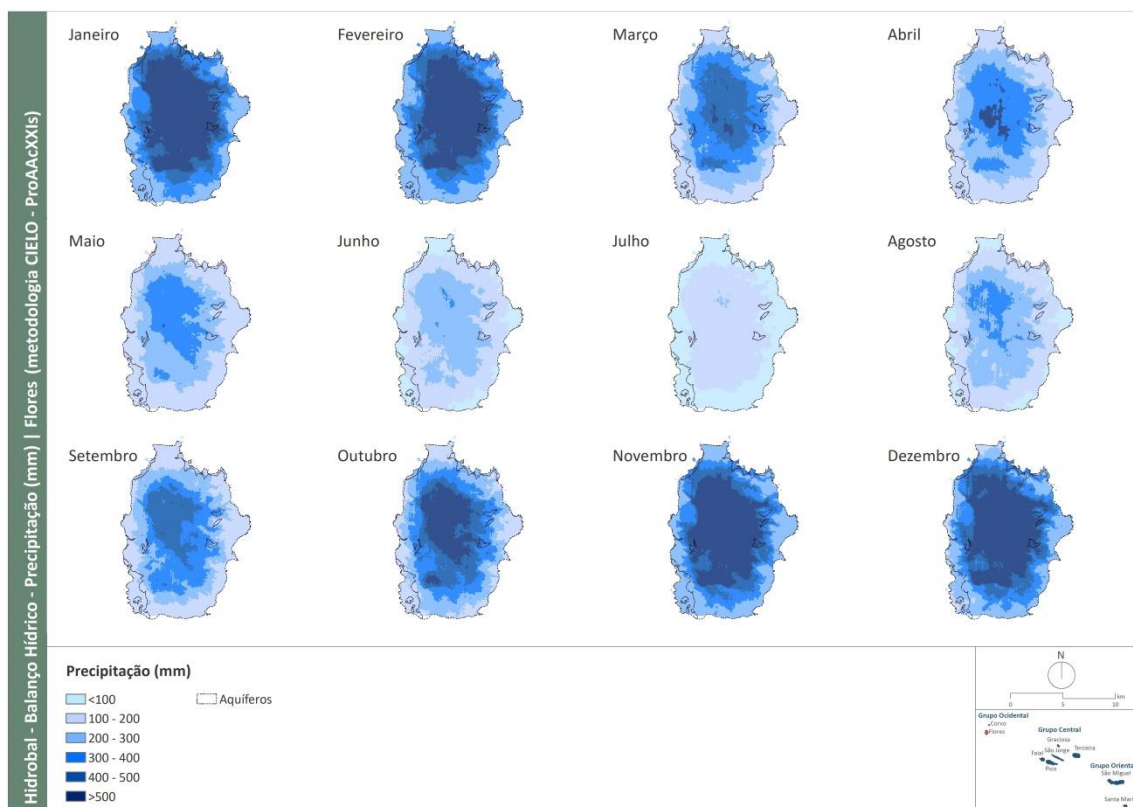


Figura 2.10_ Precipitação – ilha das Flores (metodologia CIELO – ProAAcXXIs)

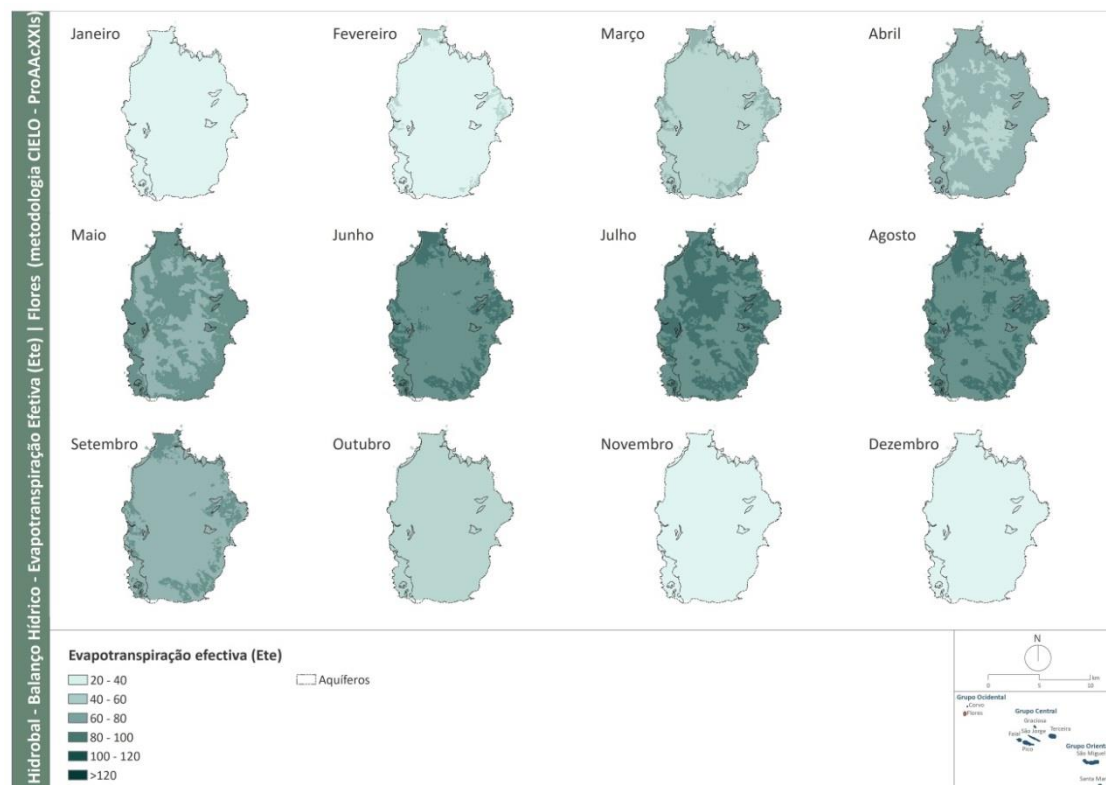


Figura 2.11_ Evapotranspiração efectiva – ilha das Flores (metodologia CIELO – ProAAcXXIs)

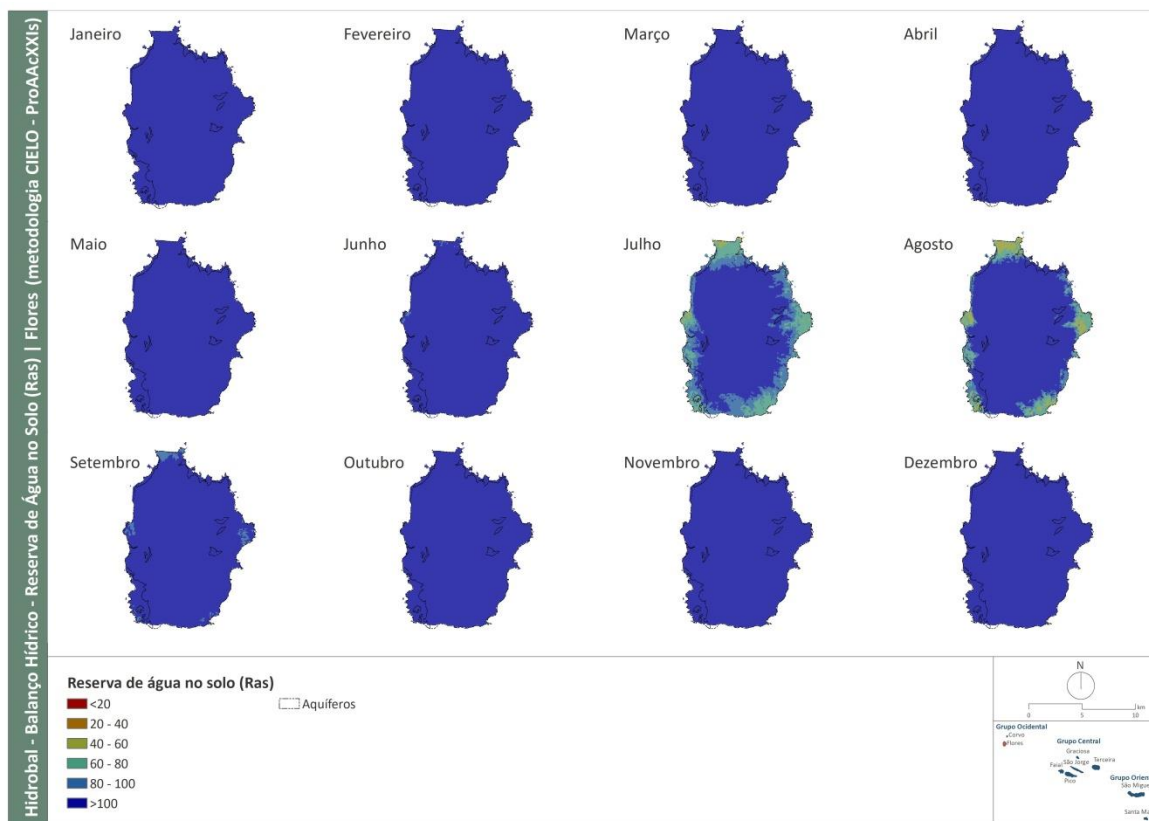


Figura 2.12_ Reserva de Água no Solo – ilha das Flores (metodologia CIELO – ProAAcXXIs)



Figura 2.13_ Déficit hídrico climático – ilha das Flores (metodologia CIELO – ProAAcXXIs)

2.4.3. Faial

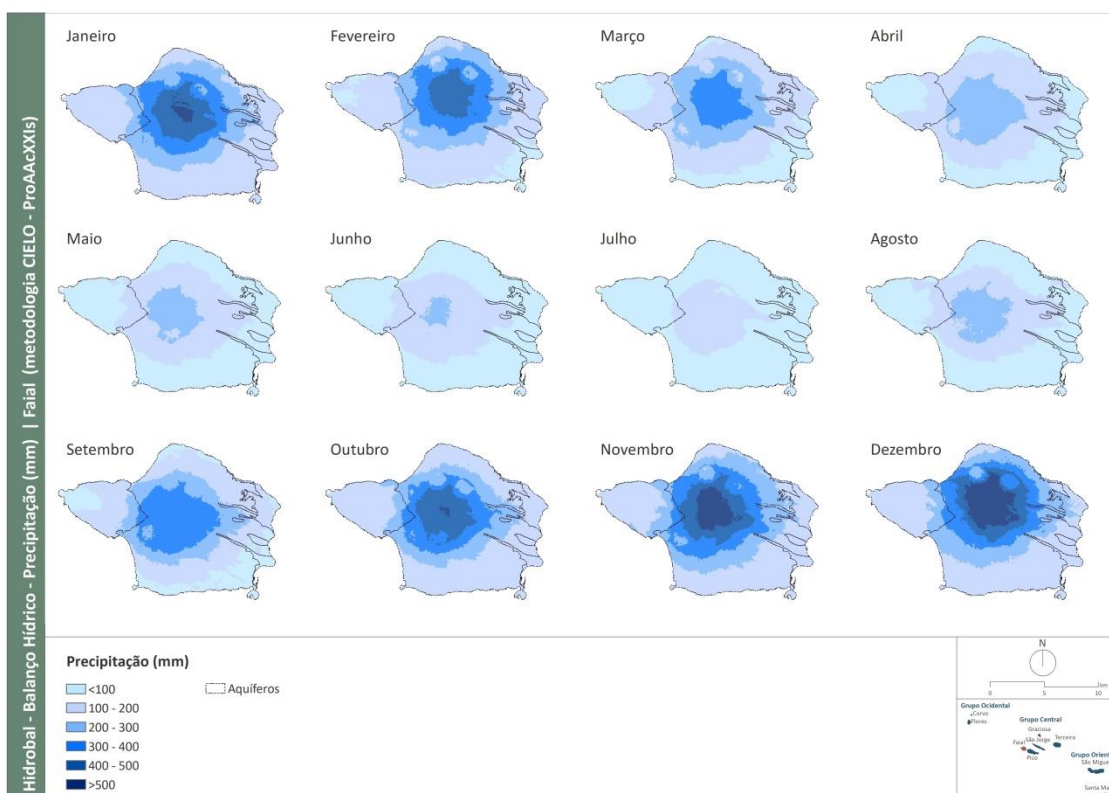


Figura 2.14_ Precipitação – ilha do Faial (metodologia CIELO – ProAcXXIs)

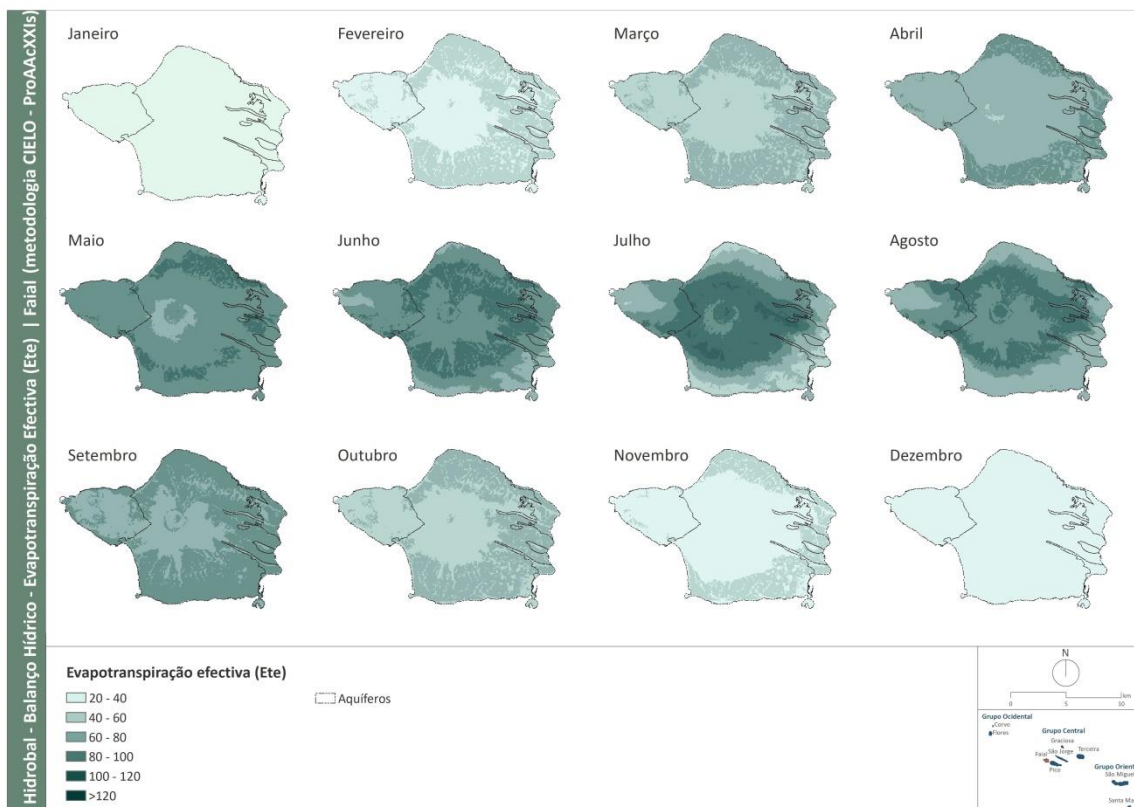


Figura 2.15_ Evapotranspiração efetiva – ilha do Faial (metodologia CIELO – ProAcXXIs)

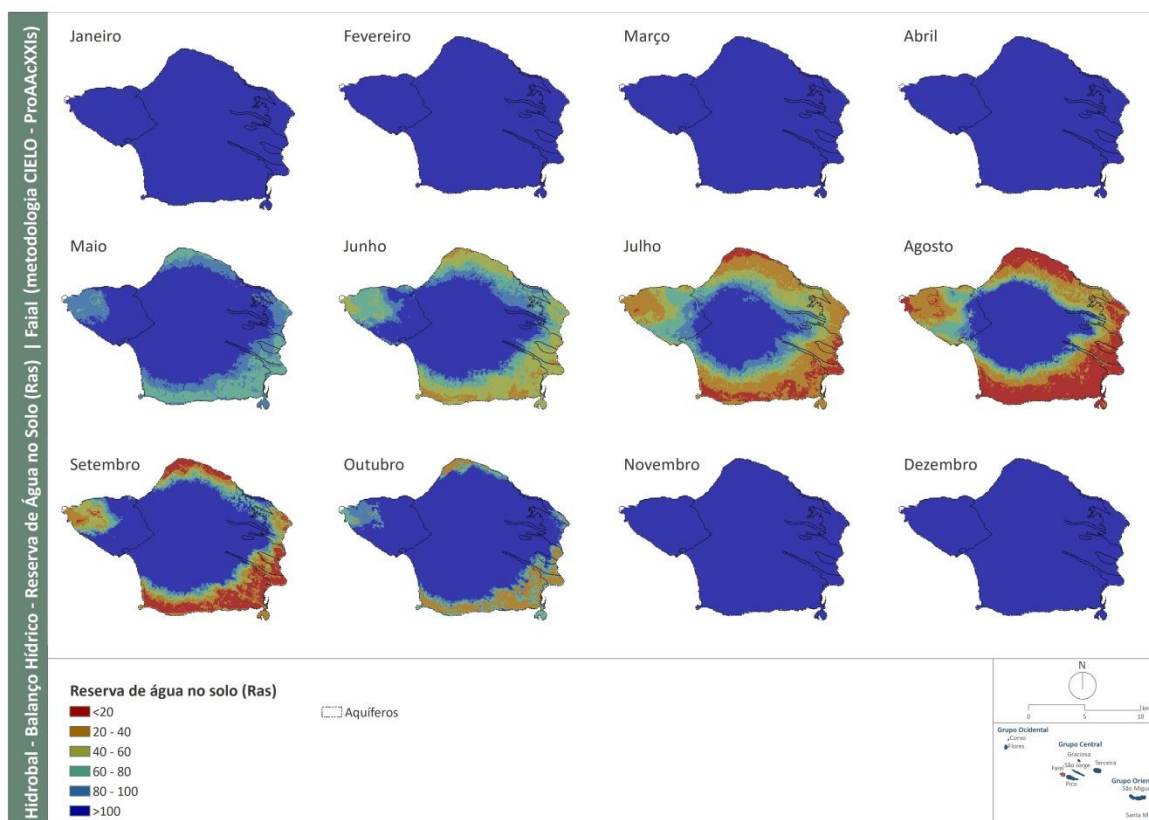


Figura 2.16_ Reserva de Água no Solo – ilha do Faial (metodologia CIELO – ProAAcXXIs)

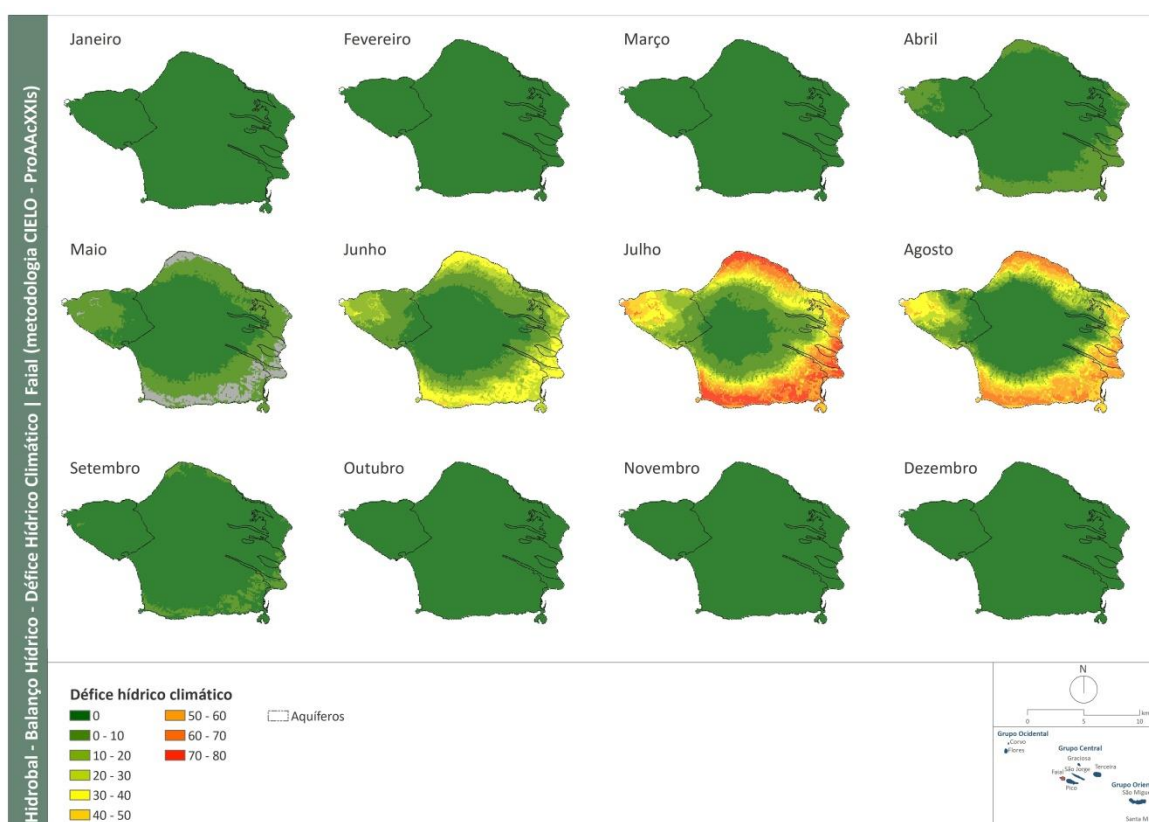


Figura 2.17_ Déficit hídrico climático – ilha do Faial (metodologia CIELO – ProAAcXXIs)

2.4.4. Pico

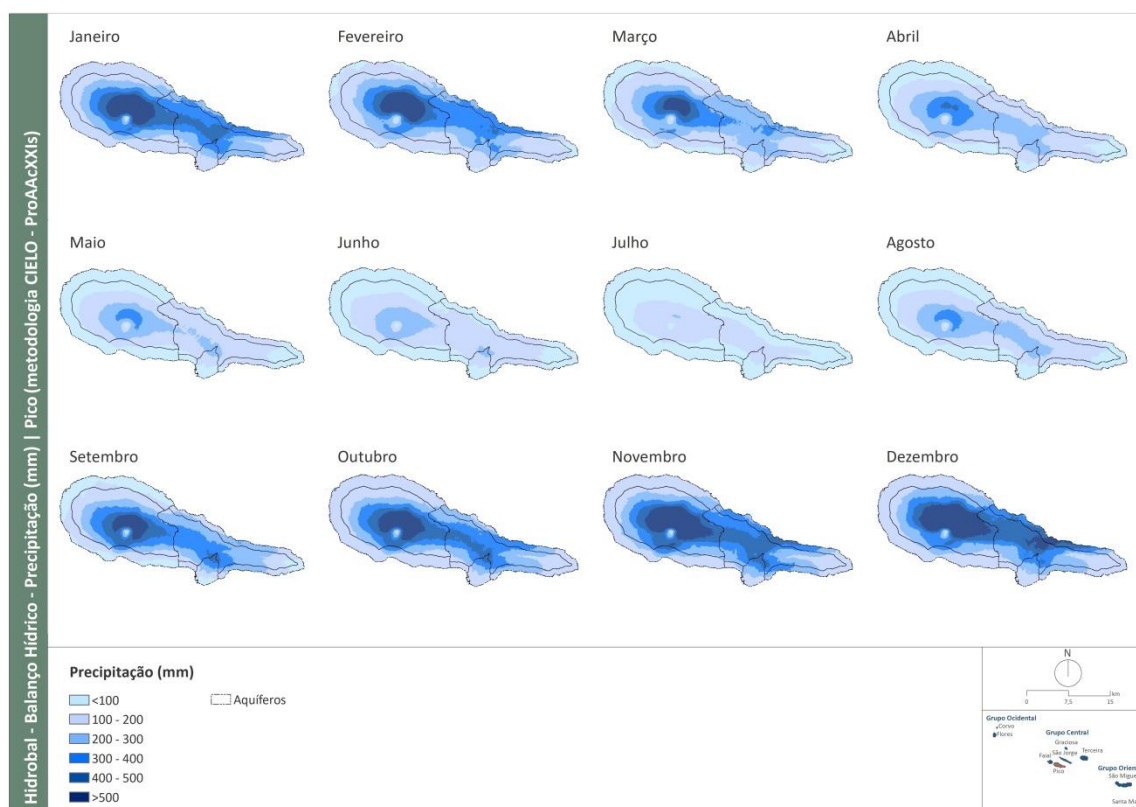


Figura 2.18_ Precipitação – ilha do Pico (metodologia CIELO – ProAAcXXIs)

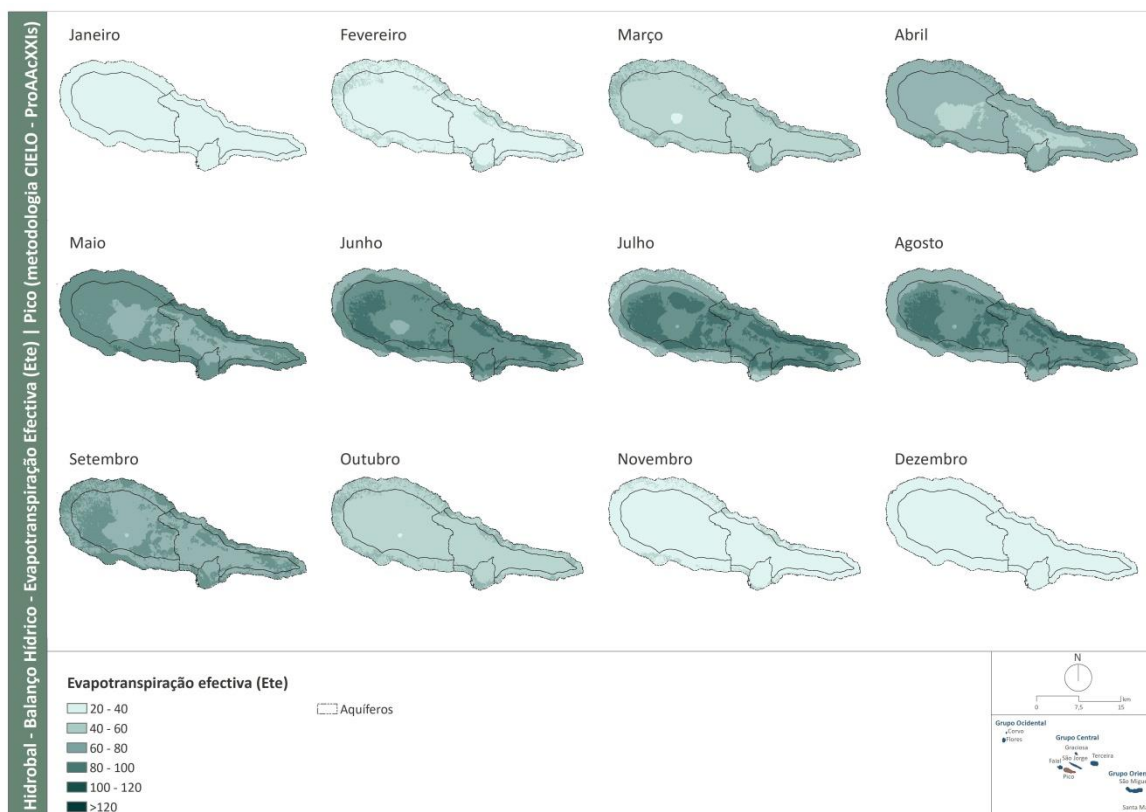


Figura 2.19_ Evapotranspiração efetiva – ilha do Pico (metodologia CIELO – ProAAcXXIs)

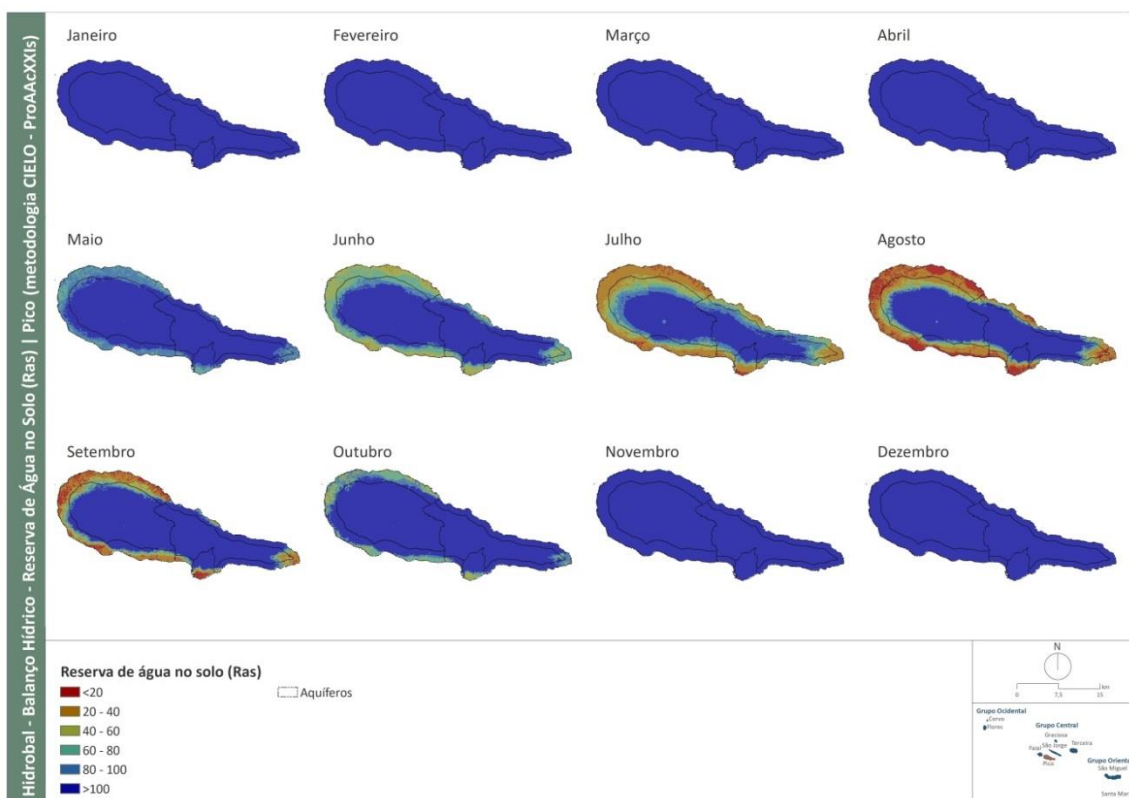


Figura 2.20_ Reserva de Água no Solo – ilha do Pico (metodologia CIELO – ProAAcXXIs)

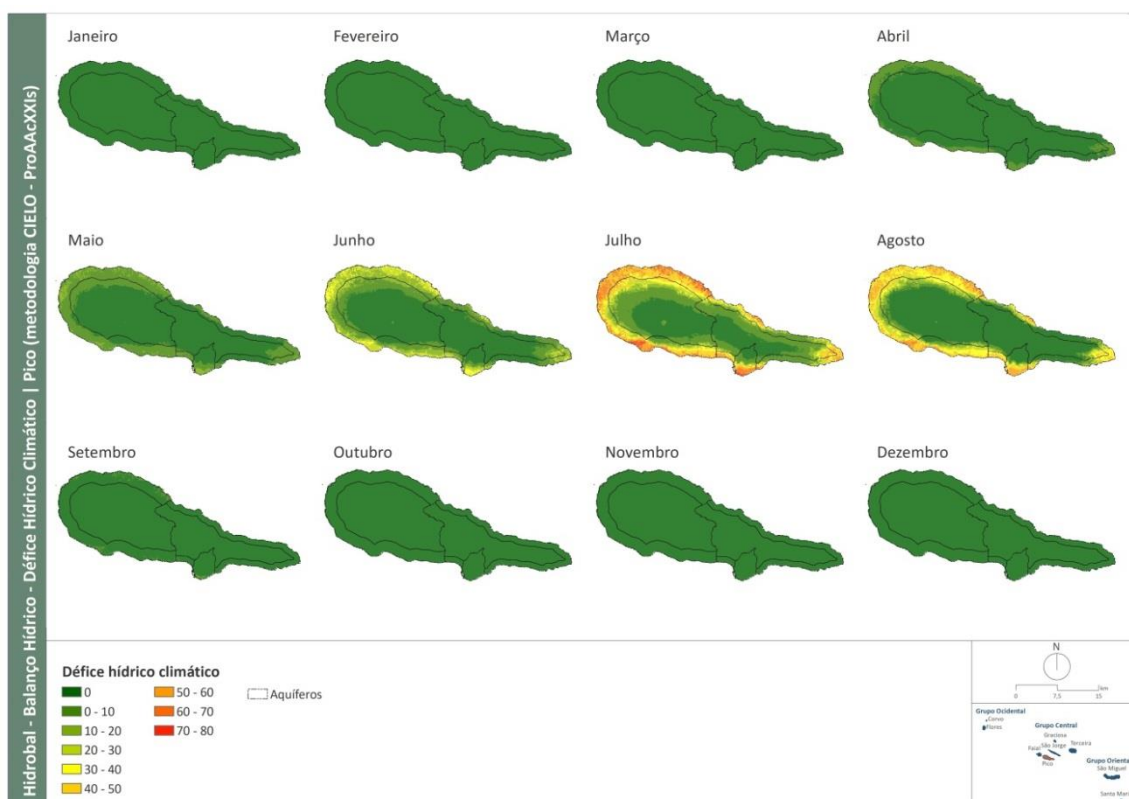


Figura 2.21_ Déficit hídrico climático – ilha do Pico (metodologia CIELO – ProAAcXXIs)

2.4.5. São Jorge

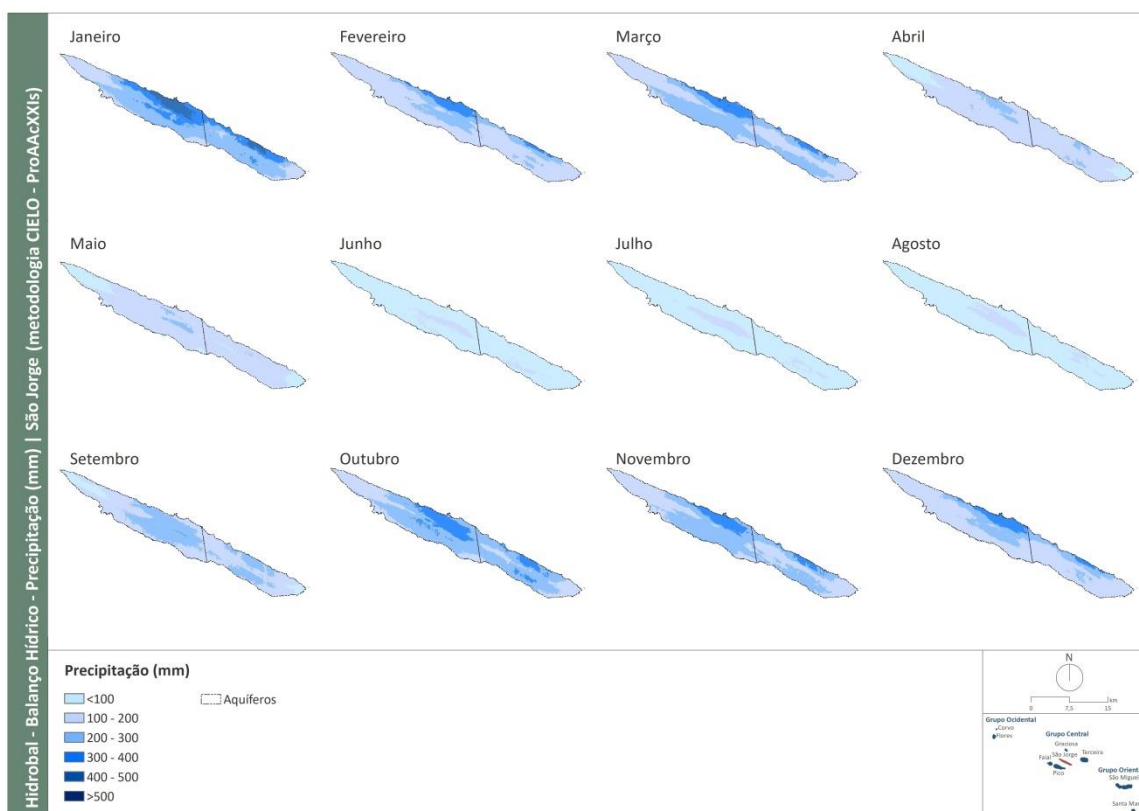


Figura 2.22_ Precipitação – ilha de São Jorge (metodologia CIELO – ProAAcXXIs)

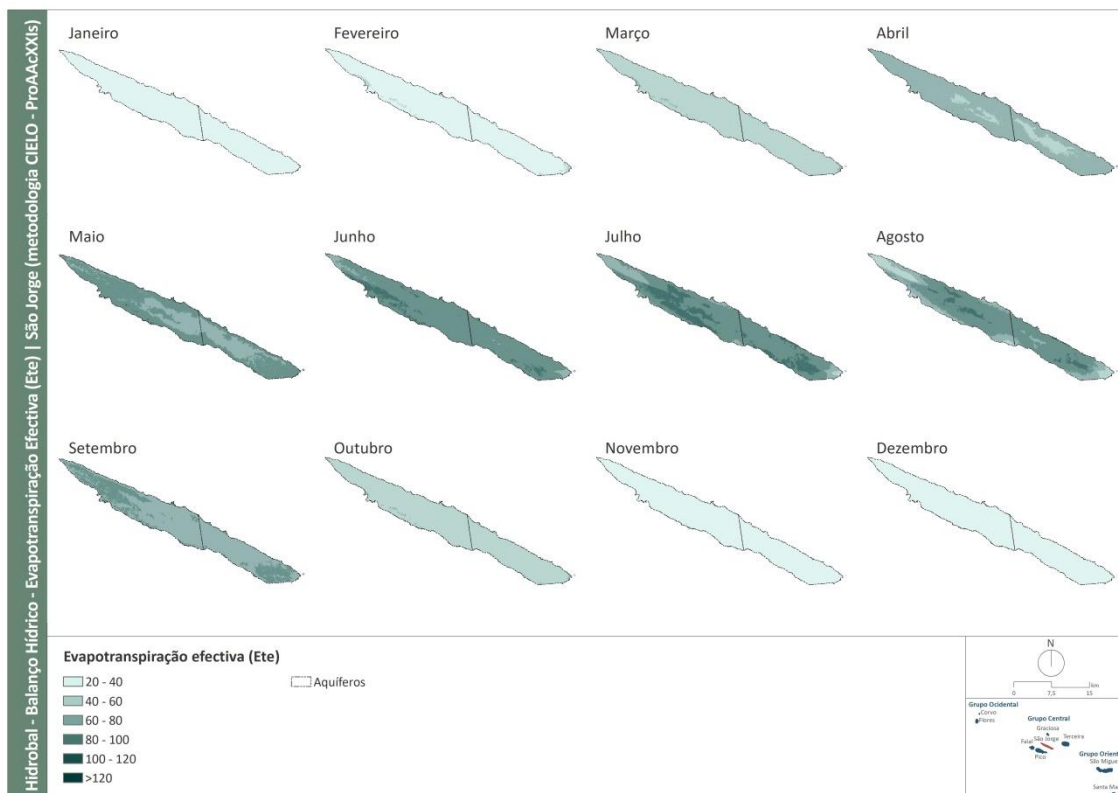


Figura 2.23_ Evapotranspiração efetiva – ilha de São Jorge (metodologia CIELO – ProAAcXXIs)

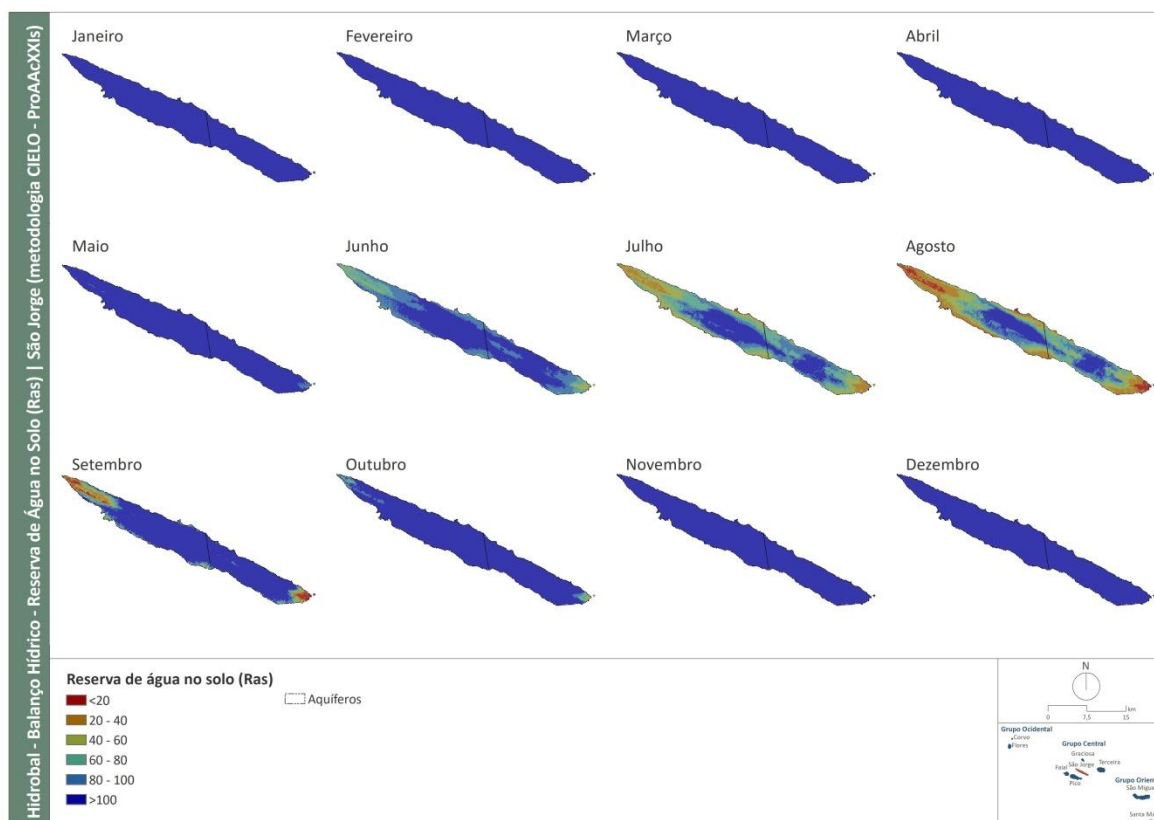


Figura 2.24_ Reserva de Água no Solo – ilha de São Jorge (metodologia CIELO – ProAAcXXIs)

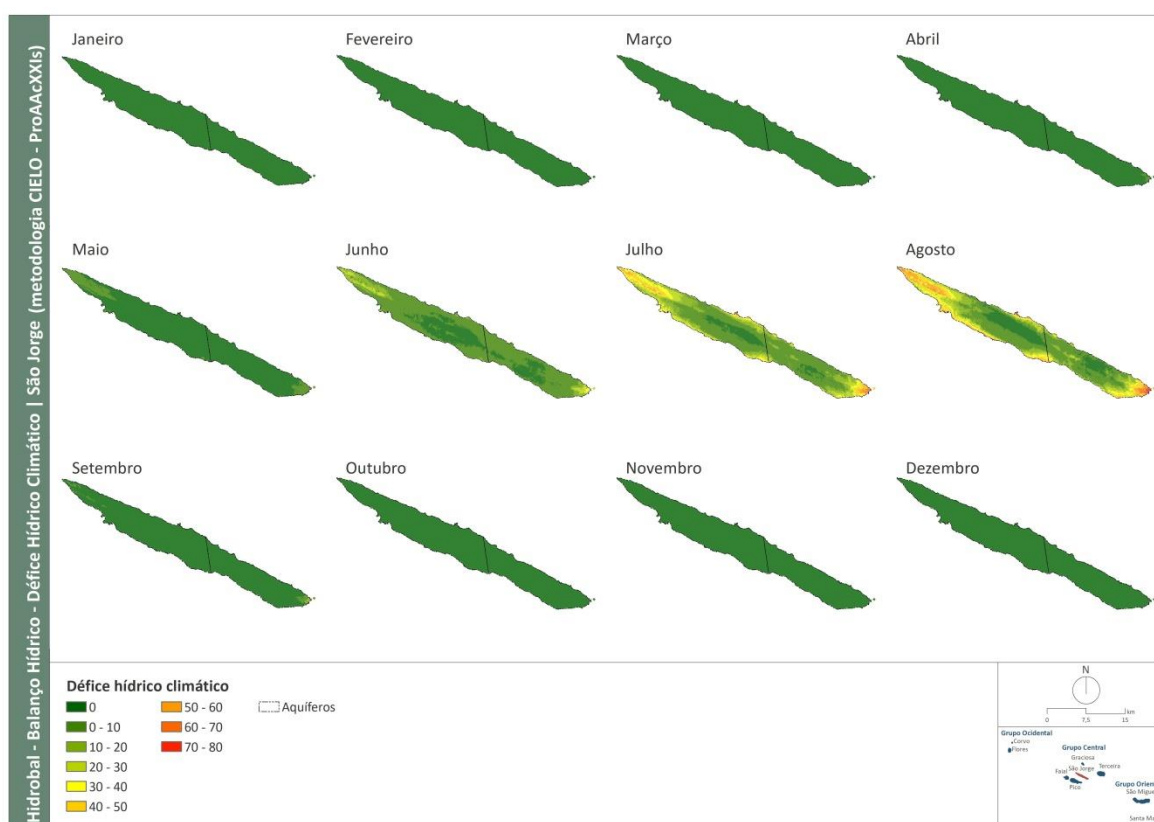


Figura 2.25_ Déficit hídrico climático – ilha de São Jorge (metodologia CIELO – ProAAcXXIs)

2.4.6. Graciosa



Figura 2.26_ Precipitação – ilha Graciosa (metodologia CIELO – ProAAcXXIs)

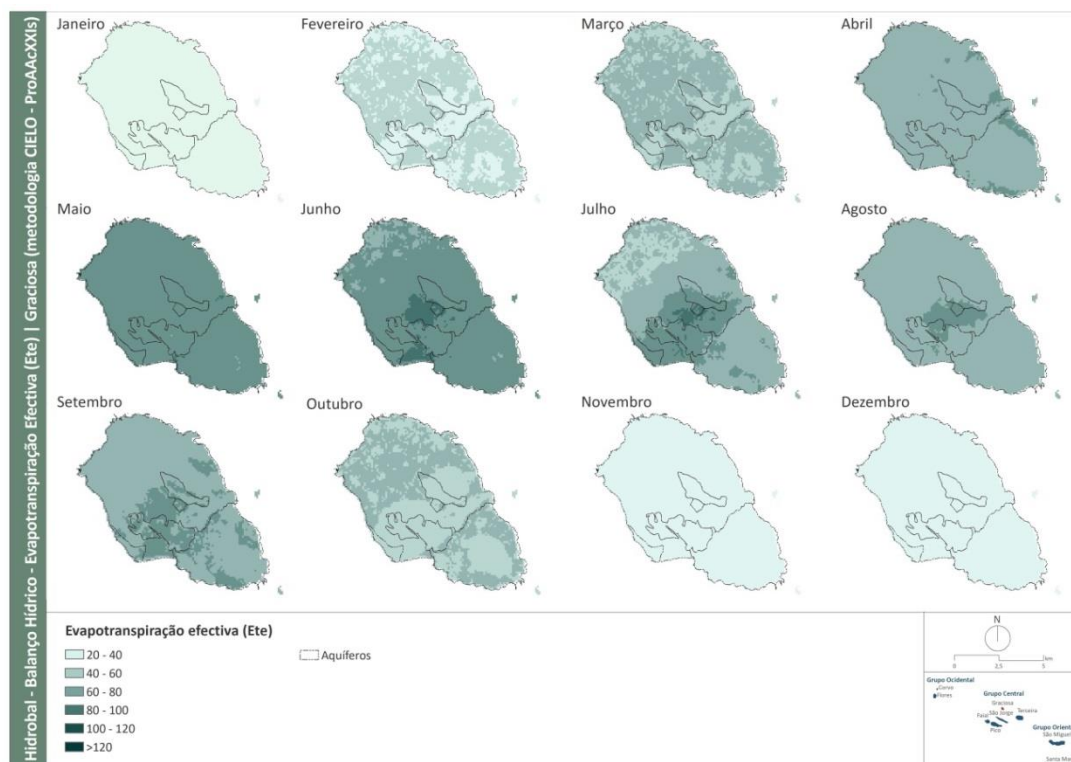


Figura 2.27_ Evapotranspiração efetiva – ilha Graciosa (metodologia CIELO – ProAAcXXIs)

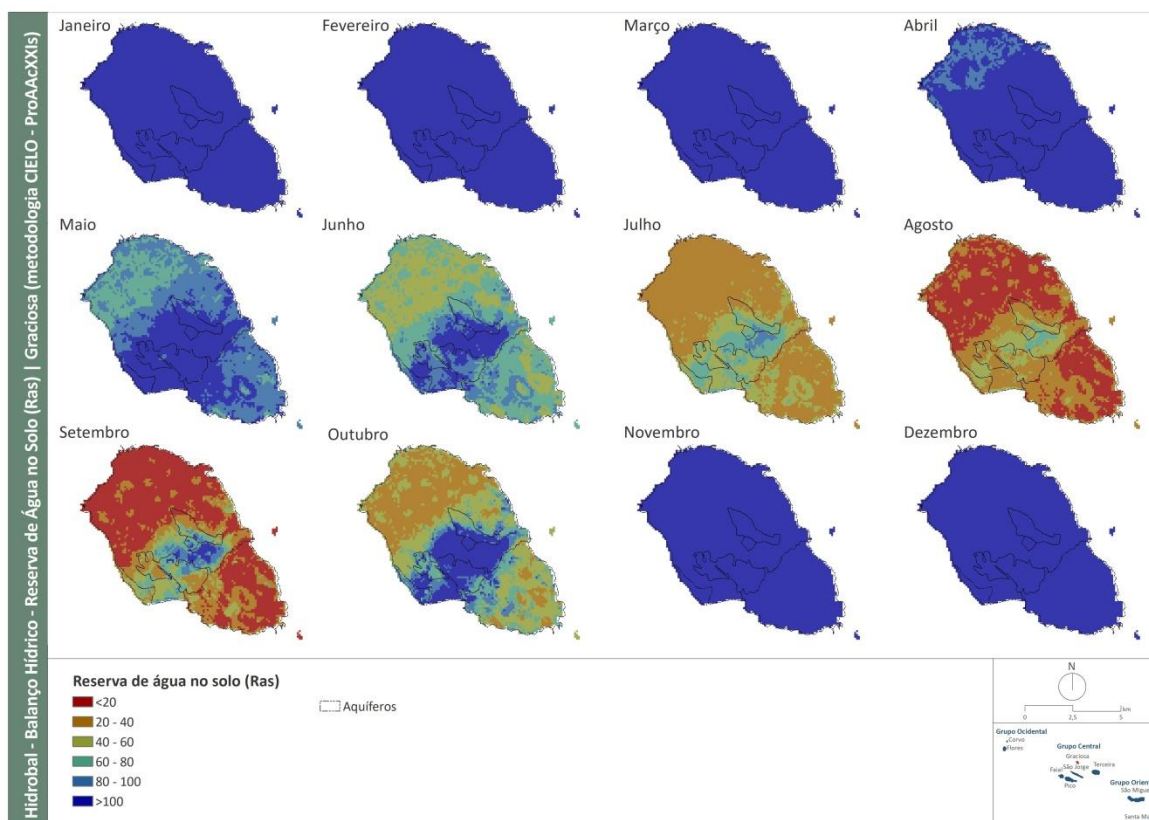


Figura 2.28_ Reserva de Água no Solo – ilha Graciosa (metodologia CIELO – ProAAcXXIs)

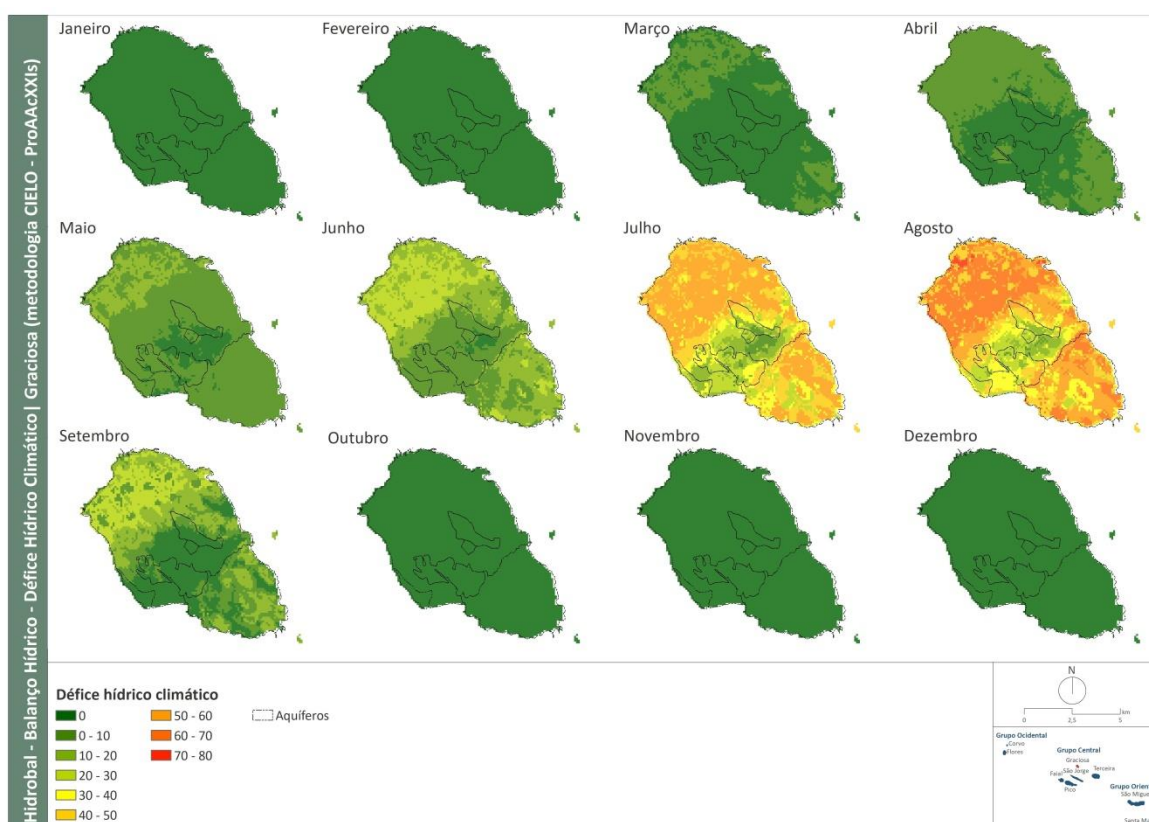


Figura 2.29_ Déficit hídrico climático – ilha Graciosa (metodologia CIELO – ProAAcXXIs)

2.4.7. Terceira

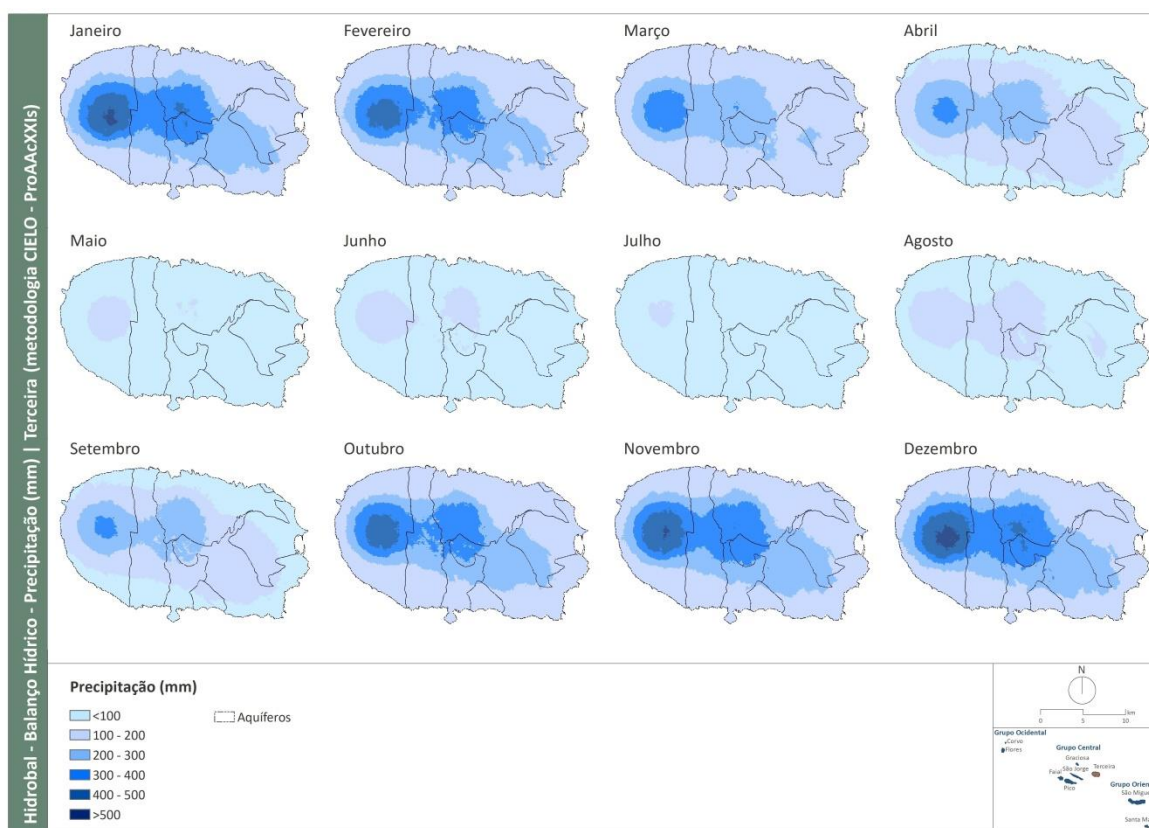


Figura 2.30_ Precipitação – ilha Terceira (metodologia CIELO – ProAAcXXIs)

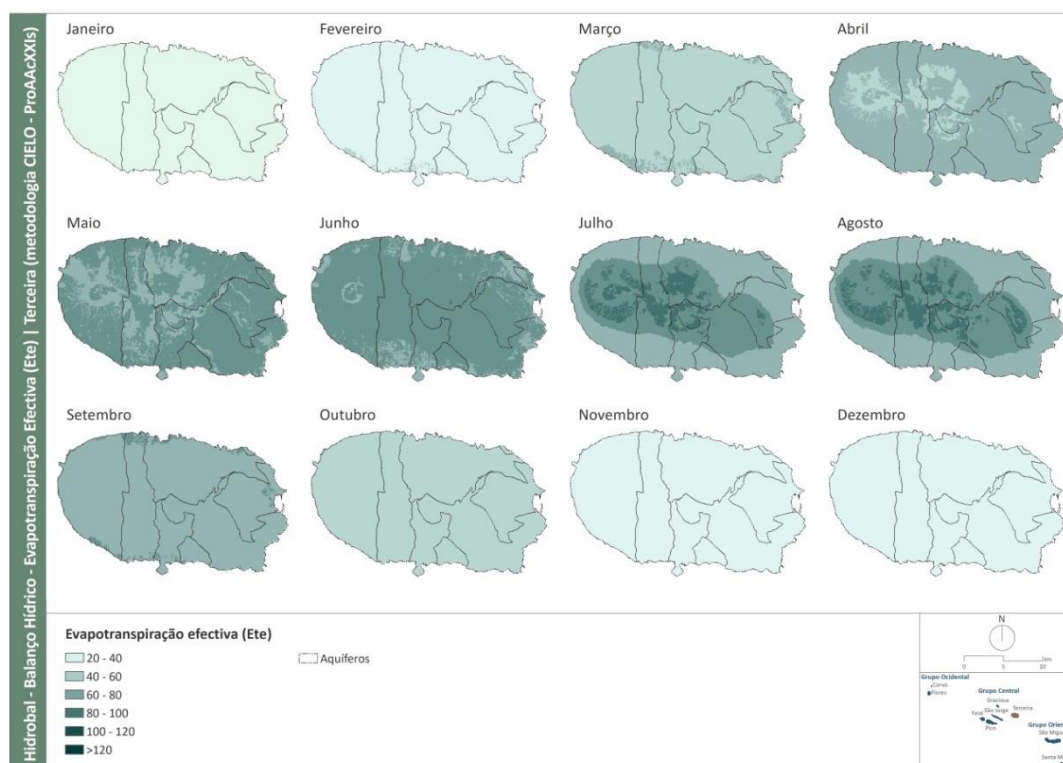


Figura 2.31_ Evapotranspiração efectiva – ilha Terceira (metodologia CIELO – ProAAcXXIs)

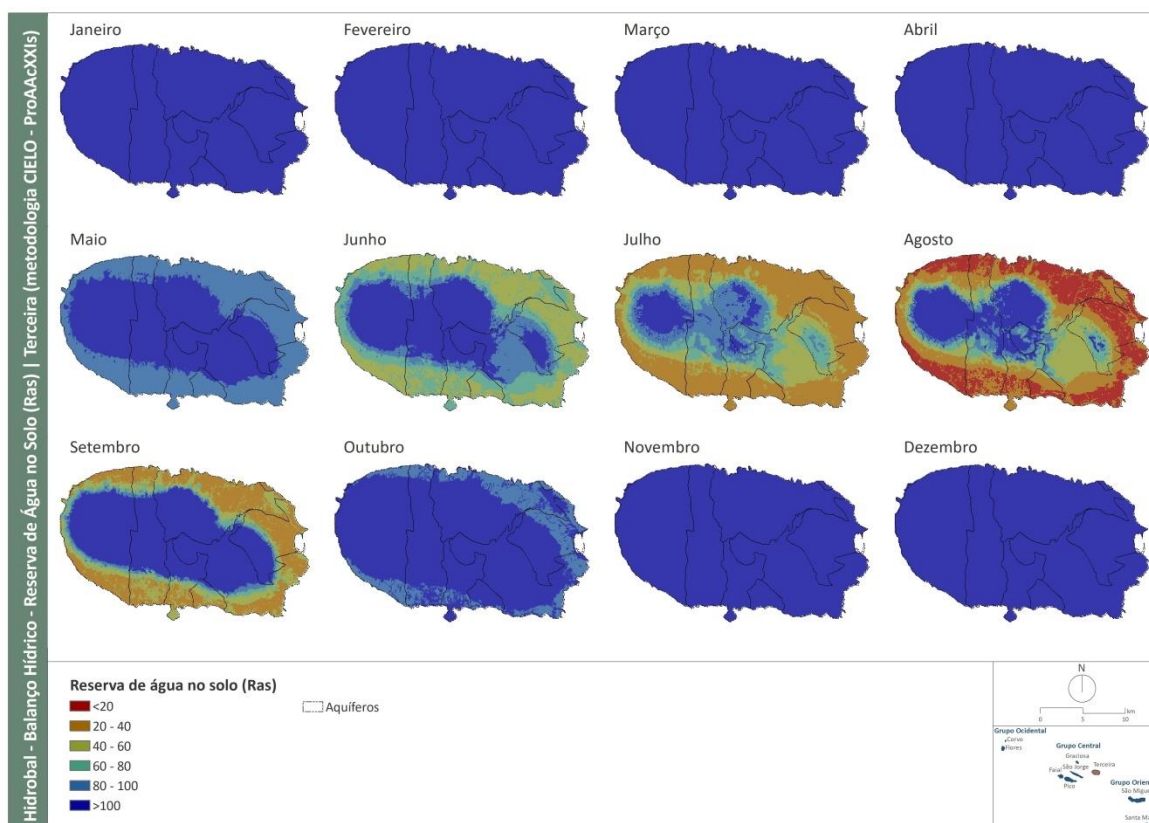


Figura 2.32_ Reserva de Água no Solo – ilha Terceira (metodologia CIELO – ProAAcXXIs)

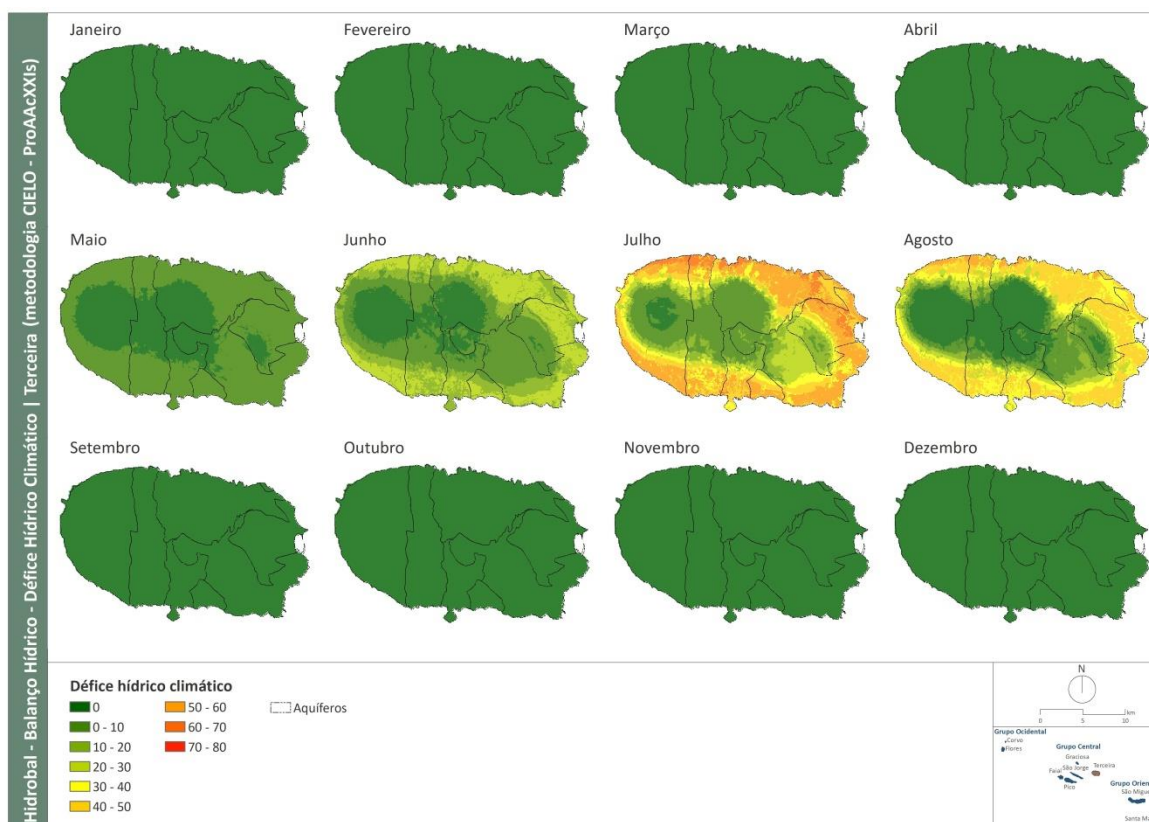


Figura 2.33_ Déficit hídrico climático – ilha Terceira (metodologia CIELO – ProAAcXXIs)

2.4.8. São Miguel

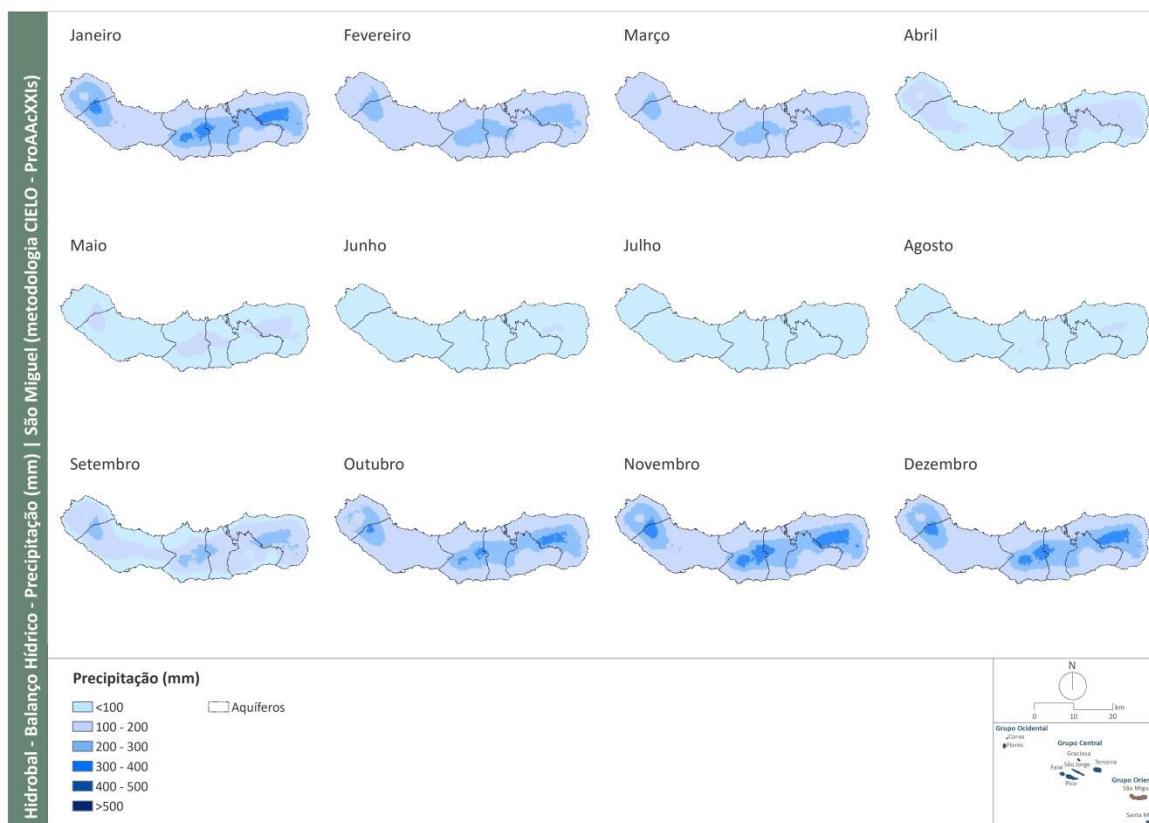


Figura 2.34_ Precipitação – ilha de São Miguel (metodologia CIELO – ProAAcXXIs)

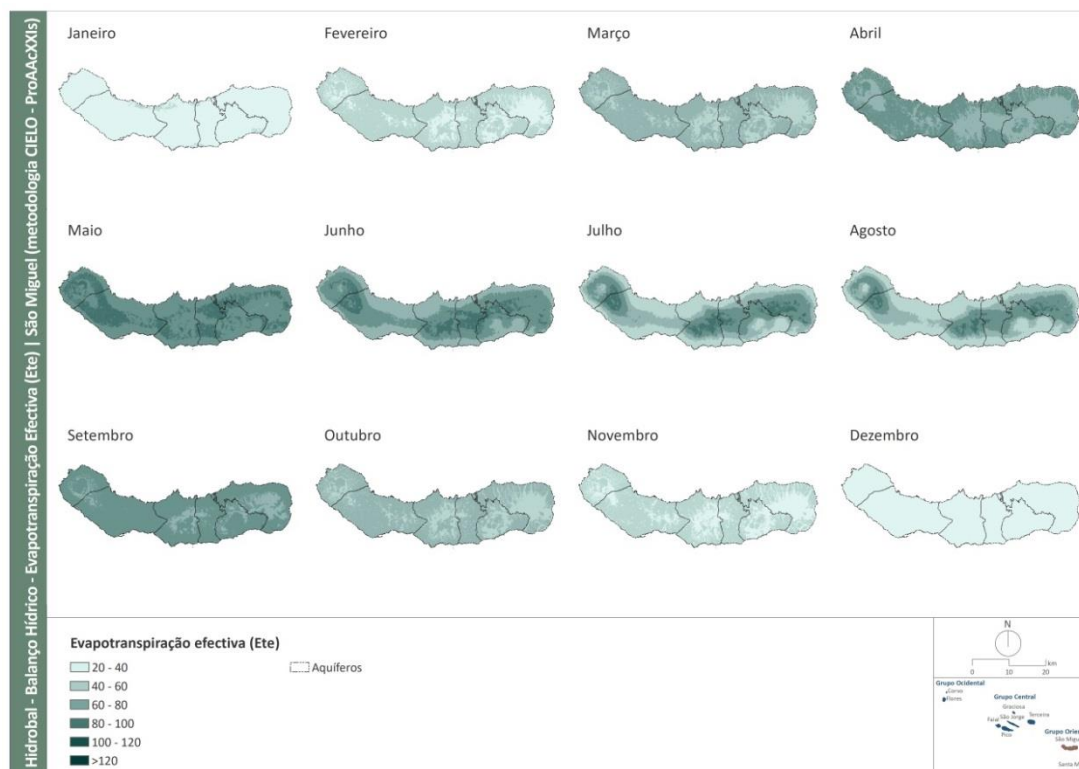


Figura 2.35_ Evapotranspiração efetiva – ilha de São Miguel (metodologia CIELO – ProAAcXXIs)

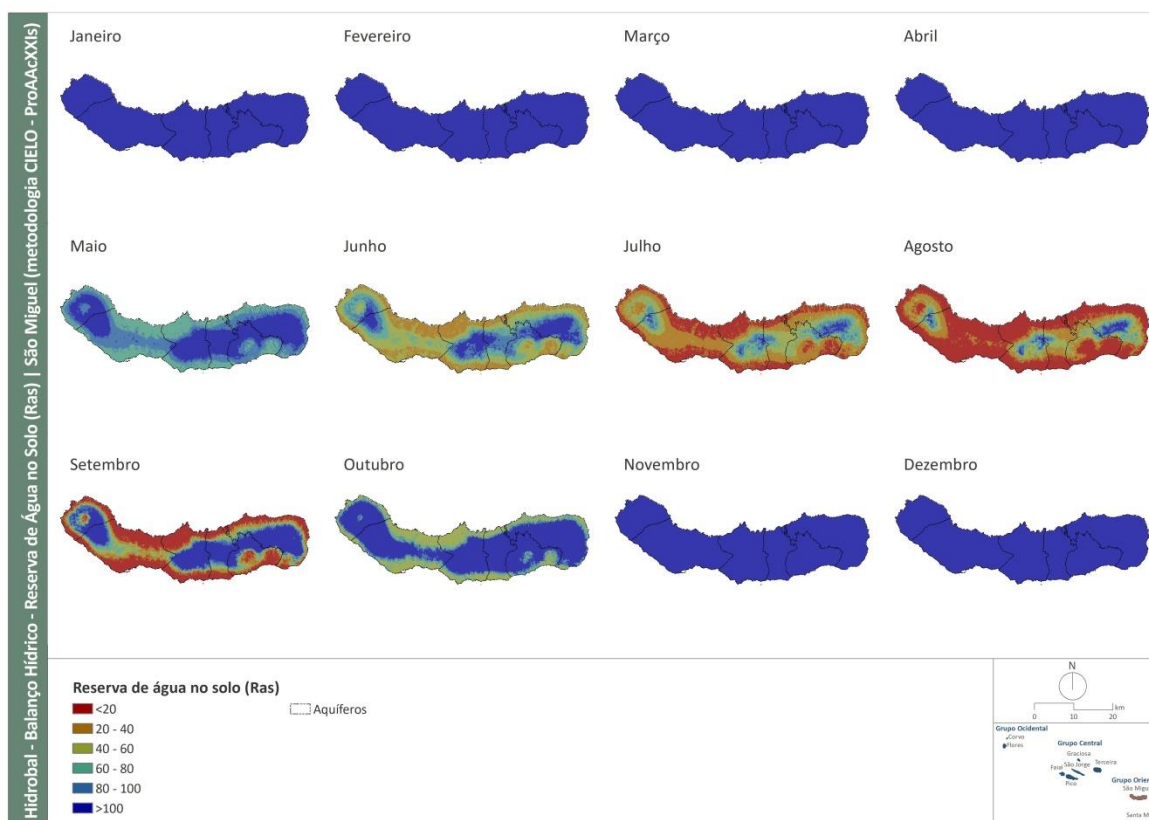


Figura 2.36_ Reserva de Água no Solo – ilha de São Miguel (metodologia CIELO – ProAAcXXIs)

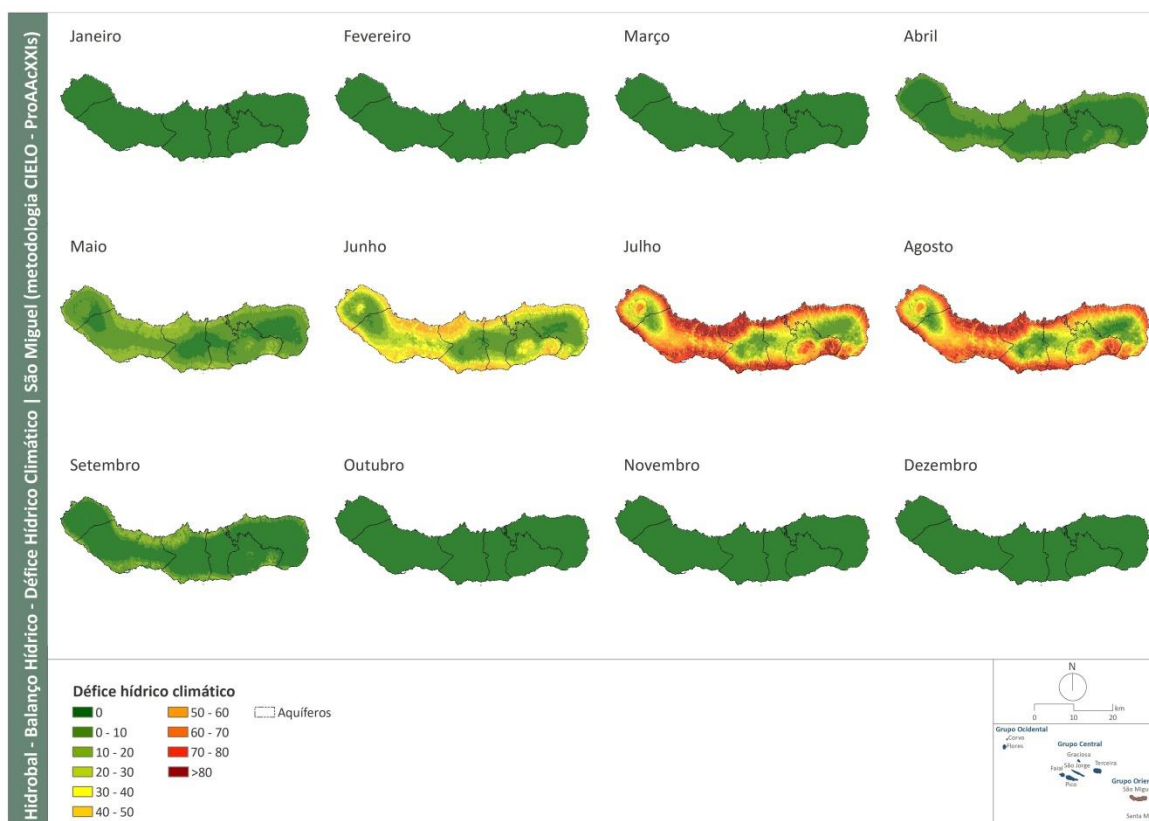


Figura 2.37_ Déficit hídrico climático – ilha de São Miguel (metodologia CIELO – ProAAcXXIs)

2.4.9. Santa Maria

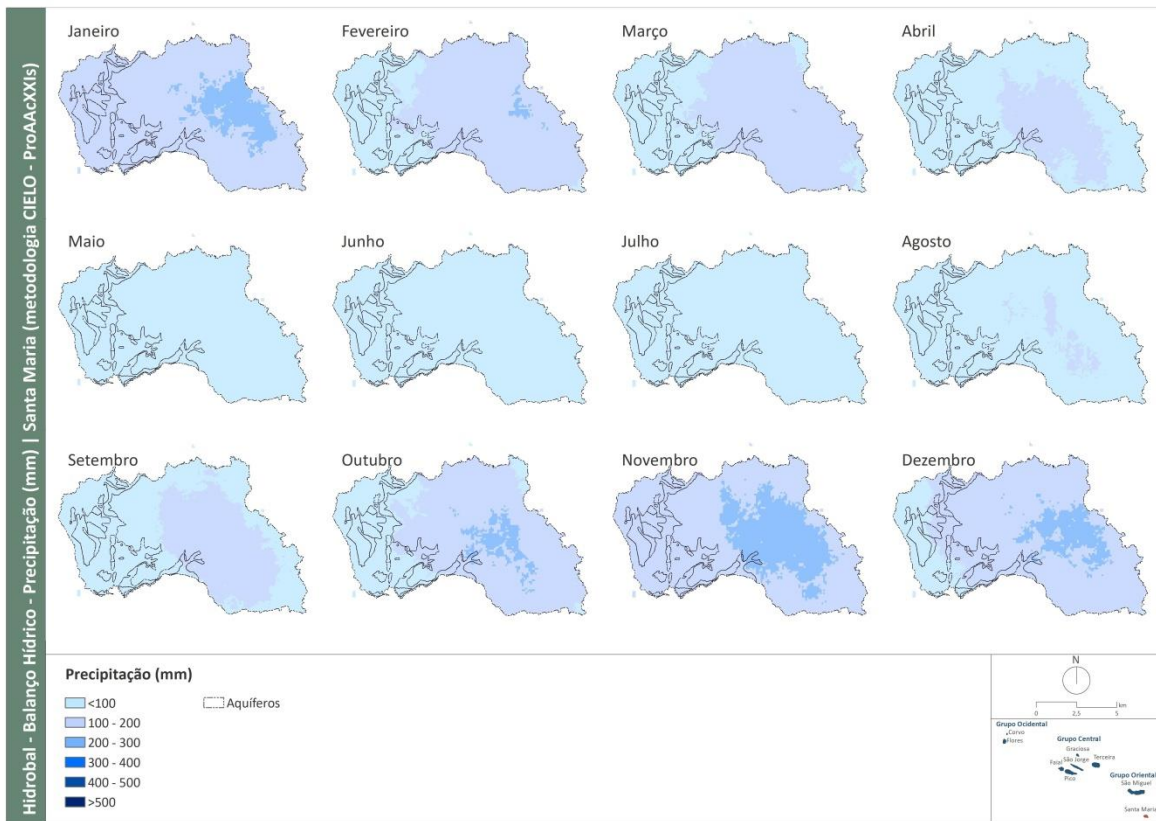


Figura 2.38_ Precipitação – ilha de Santa Maria (metodologia CIELO – ProAAcXXIs)

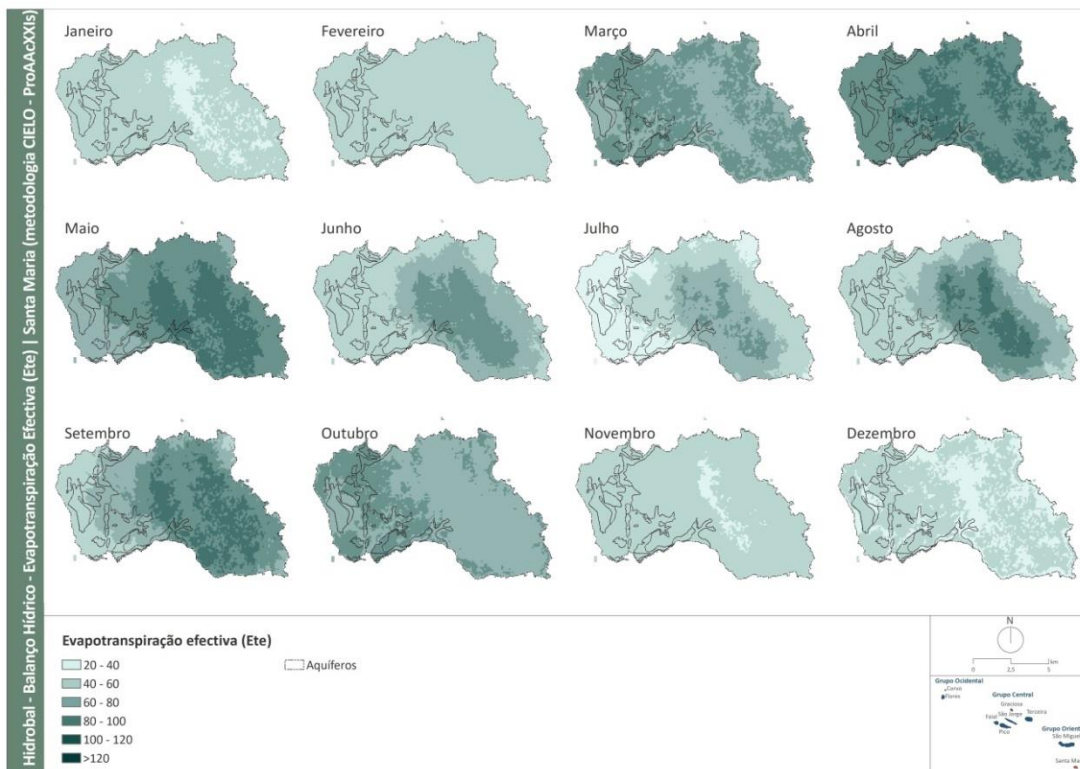


Figura 2.39_ Evapotranspiração efetiva – ilha de Santa Maria (metodologia CIELO – ProAAcXXIs)

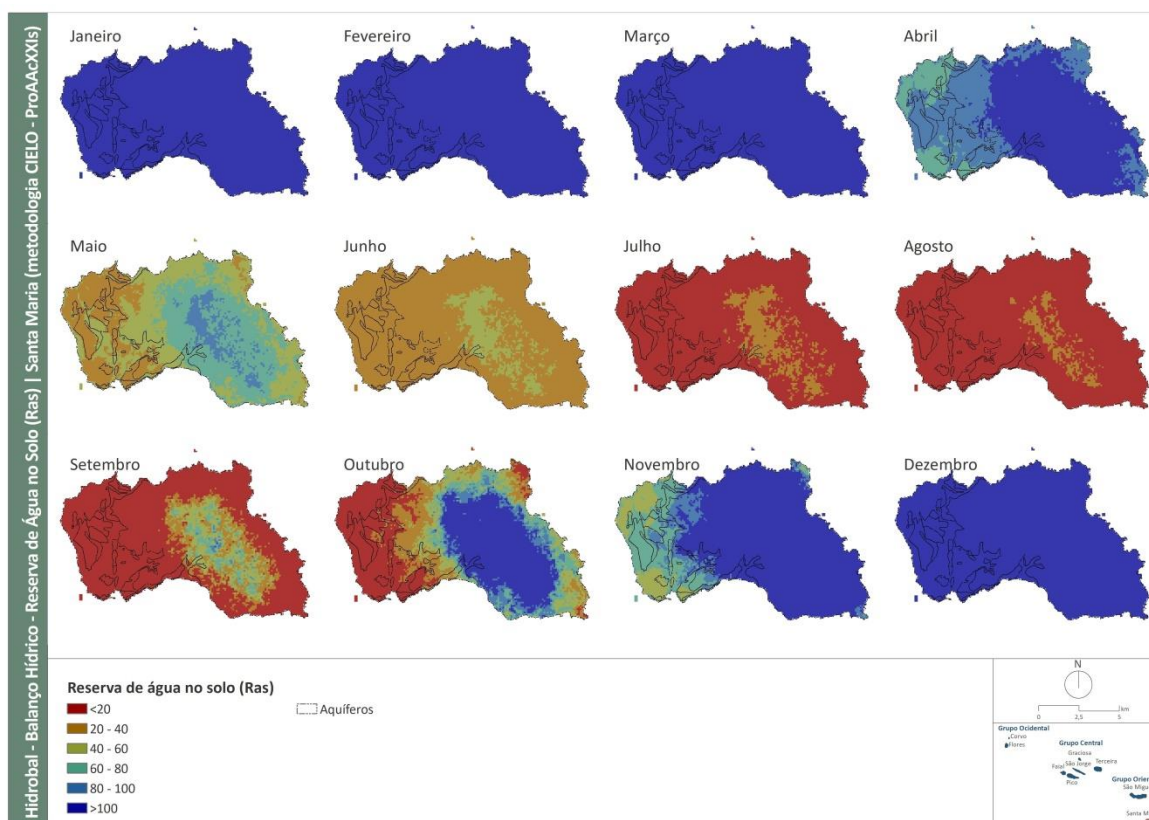


Figura 2.40_ Reserva de Água no Solo – ilha de Santa Maria (metodologia CIELO – ProAcXXIs)

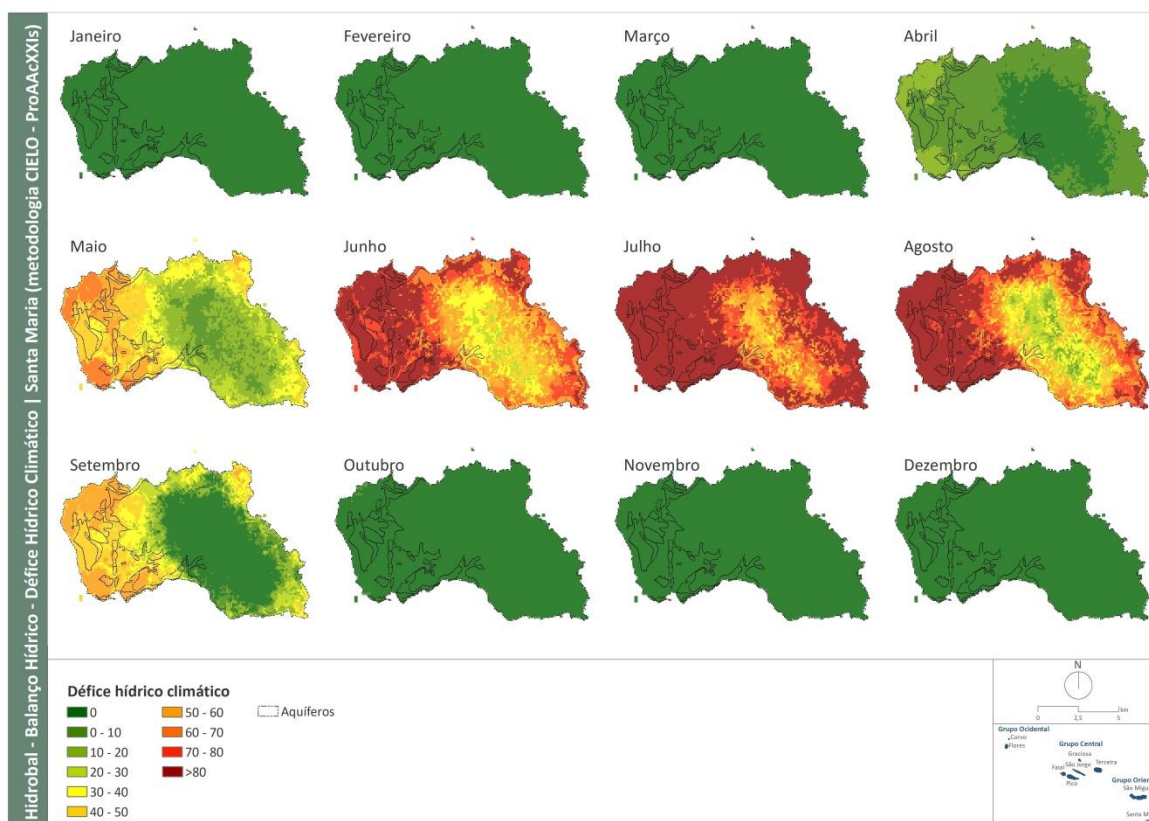


Figura 2.41_ Déficit hídrico climático – ilha de Santa Maria (metodologia CIELO – ProAcXXIs)

3. INTERAÇÃO ENTRE MASSAS DE ÁGUA SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEA

A análise de hidrogramas é a abordagem mais usual para determinar a origem do escoamento fluvial, em particular quando se pretende discriminar os seus principais componentes (Deming, 2002). O escoamento num curso de água natural compreende duas componentes principais (Lencastre & Franco, 1984): o escoamento direto, que equivale à precipitação útil sobre a bacia hidrográfica, e o escoamento de base, que corresponde ao volume de água subterrânea que contribui para o caudal fluvial, necessariamente após um determinado tempo de residência nos aquíferos. Na Figura 3.1. representam-se estas duas componentes do escoamento, tendo por base um evento pluvioso de duração determinada.

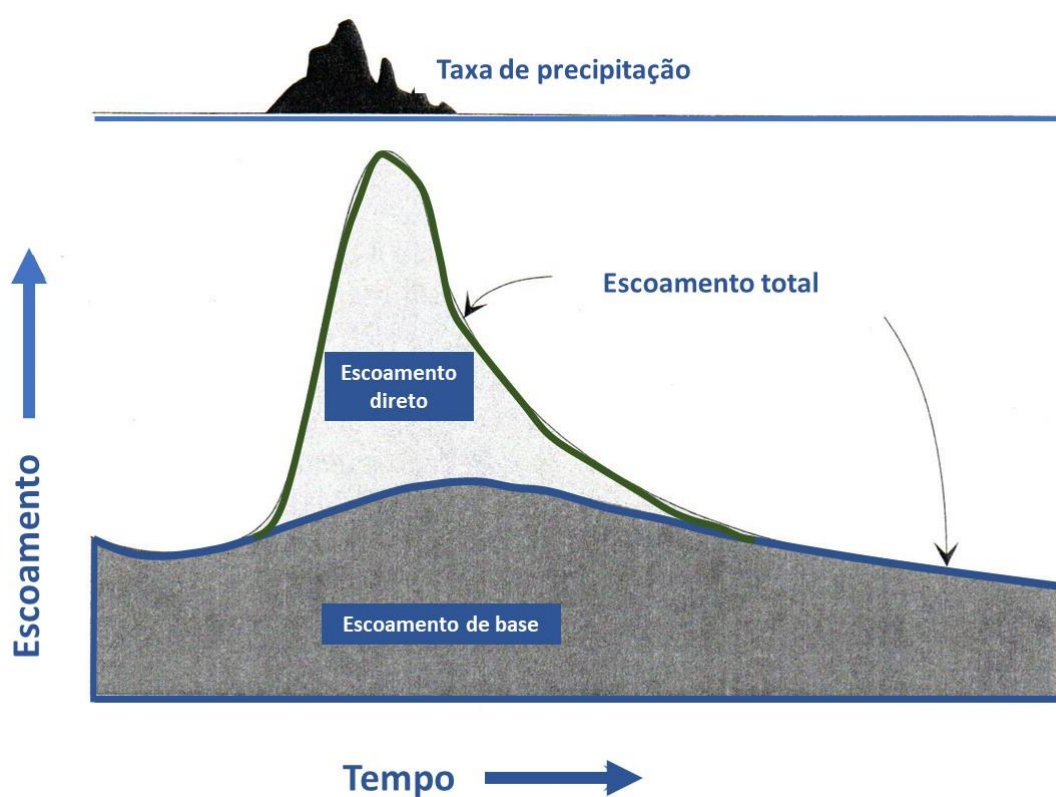


Figura 3.1_ Componentes do escoamento fluvial (adaptado de Fitts, 2002).

A separação destes dois componentes do escoamento fluvial revela-se uma tarefa difícil, tendo sido desenvolvidas várias técnicas gráficas e numéricas (Kresic, 1997). No geral, o decréscimo do caudal segue um padrão característico, passível de ser representado por uma linha reta quando o escoamento é representado no hidrograma de acordo com uma escala logarítmica, e pode ser quantificado mediante a aplicação da expressão numérica seguinte (Kresic, 1997; Hipólito & Vaz, 2011):

$$Q = Q_0 e^{-K(t-t_0)}$$

Onde:

$Q = Q(t)$, caudal no instante t

Q_0 , caudal no instante t_0 (início do decrescimento)

K , constante de decrescimento

Por forma a estimar o escoamento de base nas massas de água subterrânea, uma vez que estes constituem recursos hídricos subterrâneos não exploráveis, no decurso dos trabalhos efetuados no âmbito do presente projeto recolheram-se as observações de escoamento médio diário registadas nas várias estações hidrométricas que compõem a Rede Hidrometeorológica dos Açores (Direção Regional do Ordenamento do Território e dos Recursos Hídricos/Secretaria Regional do Ambiente e Alterações Climáticas). Com base nos dados disponíveis foram considerados períodos de duração variável, que sempre que possível abrangiam vários anos hidrológicos sucessivos, após o que se usou o *software* BFI+ vs. 3.0 (Gregor, 2010) para estimar o escoamento de base diário ao longo destes intervalos. Os resultados obtidos permitem constatar que na grande maioria dos cursos de água estudados o escoamento de base, com origem na água subterrânea, é relevante (Quadro 3.1).

A distribuição geográfica das bacias hidrográficas correspondentes aos cursos de água para os quais foi determinado o respetivo escoamento de base encontra-se representada na Figura 3.2, observando-se os valores médios mais elevados na ilha de São Miguel. Os hidrogramas para os vários períodos considerados em cada estação hidrométrica encontram-se representados nas Figuras 3.3 a 3.28. Na ilha de Santa Maria, em particular na ribeira de São Francisco, o único curso de água de regime permanente, o escoamento de base é em média cerca de 48% do escoamento total, valor superior ao verificado nos outros dois cursos de água estudados. Em São Miguel, a fração do escoamento total atribuída ao escoamento de base nas estações hidrométricas localizadas mais a jusante em cada bacia hidrográfica varia em média entre cerca de 36% (ribeira do Guilherme) e valores superiores a 80% (~82,5%; ribeira Grande). No geral, os valores mais elevados são apurados nas estações hidrométricas localizadas em troços da ribeira Grande, na gama entre 82% e 87%, bem como nas ribeiras de Água de Pau e da Praia, ambas no flanco S do mesmo vulcão, com valores respetivamente iguais a 68% e 78%. Na ribeira Grande da ilha das Flores os valores nas duas estações hidrométricas localizadas nessa bacia variam entre 56% e 63%.

Quadro 3.1_ Escoamento médio diário nas várias estações hidrométricas estudadas e estimativa do escoamento de base.

Ilha	Estação Hidrométrica (ribeira)	Ano Hidrológico	Escoamento médio diário (L/s)	Escoamento de base médio diário (L/s)	Razão Esc. Base/Esc. (média diária) (em %)
Santa Maria	Cachaço (rib. Cachaço)	2015/16	3,2	0,1	1,9
		2016/17	0,5	0,0	4,0
		2017/18	0,7	0,1	12,5
		2018/19	39,3	0,1	0,2
	Santa Bárbara (rib. Santa Bárbara)	2011/12	54,4	18,3	33,6
		2012/13	29,7	6,3	21,2

Ilha	Estação Hidrométrica (ribeira)	Ano Hidrológico	Escoamento médio diário (L/s)	Escoamento de base médio diário (L/s)	Razão Esc. Base/Esc. (média diária) (em %)
São Miguel		2013/14	22,5	3,3	14,6
		2015/16	32,1	0,9	2,7
		2016/17	1,2	1,0	78,5
		2017/18	97,9	29,6	30,2
		2018/19	150,2	81,1	54,0
	São Francisco (rib. São Francisco)	2011/12	118,4	69,4	58,7
		2012/13	201,5	115,6	57,4
		2013/14	130,1	77,8	59,8
		2014/15	55,9	42,8	76,6
		2015/16	58,2	3,5	6,1
		2016/17	35,5	5,3	14,8
		2017/18	198,6	120,0	60,4
	Guilherme (rib. Guilherme)	2011/12	850,4	265,6	31,2
		2012/13	690,7	154,5	22,4
		2013/14	1763,2	158,8	9,0
		2014/15	473,8	381,0	80,4
	Lomba da Erva (rib. Faial da Terra)	2011/12	455,1	344,1	75,6
		2012/13	532,8	339,0	63,6
		2013/14	257,7	145,0	56,3
		2014/15	198,6	111,3	56,0
		2015/16	289,9	160,0	55,2
		2016/17	242,5	156,9	64,7
		2017/18	225,8	135,9	60,2
São Miguel	Bispos (rib. Povoação)	2018/19	385,8	213,4	55,3
		2011/12	241,6	197,1	81,6
		2012/13	403,7	309,0	76,5
		2013/14	176,7	128,3	72,6
		2014/15	65,8	41,7	63,4
		2015/16	180,3	150,2	83,3
		2016/17	111,9	75,1	67,1
		2017/18	124,8	97,1	77,8
		2018/19	165,7	126,8	76,5
	Purgar (rib. Povoação)	2013/14	355,1	245,5	69,1
		2014/15	414,8	330,8	79,8
	Caldeirões (rib. Caldeirões)	2011/12	195,9	131,3	67,0

Ilha	Estação Hidrométrica (ribeira)	Ano Hidrológico	Escoamento médio diário (L/s)	Escoamento de base médio diário (L/s)	Razão Esc. Base/Esc. (média diária) (em %)
Ilha de São Paulo	Lombo Frio (rib. Quente/Amarela)	2011/12	307,0	180,6	58,8
		2012/13	1954,7	1339,6	68,5
		2013/14	646,4	479,4	74,2
		2014/15	755,5	537,7	71,2
		2015/16	1152,7	856,0	74,3
		2016/17	946,7	701,8	74,1
		2017/18	862,2	612,8	71,1
		2018/19	834,9	465,8	55,8
	Salto da Inglesa (rib. Quente/Amarela)	2011/12	23,8	2,3	9,8
		2014/15	27,8	2,3	8,1
		2015/16	53,5	4,2	7,8
		2018/19	24,5	4,0	16,5
	Água de Pau (rib. Água de Pau)	2011/12	165,9	16,6	10,0
		2012/13	20,5	15,0	72,9
		2013/14	13,7	10,9	79,8
		2014/15	9,9	8,0	80,3
		2015/16	14,8	10,5	71,1
		2016/17	11,0	9,3	84,7
		2018/19	15,9	11,8	74,3
	Praia (rib. Praia)	2012/13	295,4	199,7	67,6
		2013/14	229,4	183,4	79,9
		2014/15	233,3	187,0	80,1
		2015/16	379,1	295,1	77,8
		2016/17	254,5	206,5	81,1
		2018/19	294,6	231,5	78,6
	Ribeira Grande (rib. Grande)	2011/12	318,2	259,7	81,6
		2012/13	566,6	439,1	77,5
		2013/14	423,4	365,6	86,4
		2014/15	245,6	193,8	78,9
		2015/16	368,2	299,5	81,3
		2016/17	425,6	361,3	84,9
		2017/18	436,8	379,6	86,9
		2018/19	458,0	374,9	81,8
	Pernada (rib. Grande)	2011/12	80,0	61,0	76,3
		2012/13	57,0	43,6	76,5
		2013/14	123,9	106,4	85,9

Ilha	Estação Hidrométrica (ribeira)	Ano Hidrológico	Escoamento médio diário (L/s)	Escoamento de base médio diário (L/s)	Razão Esc. Base/Esc. (média diária) (em %)
		2014/15	101,1	86,4	85,4
		2015/16	132,9	109,3	82,2
		2016/17	34,7	28,7	82,7
		2017/18	52,9	40,0	75,7
		2018/19	85,9	75,8	88,2
	Lombadas (rib. Grande)	2011/12	12,9	10,2	78,9
		2012/13	40,3	17,9	44,5
		2014/15	16,7	16,5	98,6
		2015/16	39,1	17,1	43,7
		2016/17	35,9	21,0	58,5
		2017/18	28,1	17,0	60,4
	Rosário (rib. Grande)	2015/16	162,0	135,8	83,9
		2016/17	149,0	133,5	89,6
	Gramas (rib. Gramas)	2011/12	174,4	108,4	62,2
		2012/13	1918,2	779,2	40,6
		2013/14	712,4	179,2	25,1
		2017/18	168,3	27,2	16,1
		2018/19	24,1	24,0	99,8
Flores	Ferreiro (rib. Grande)	2018/19	335,8	189,1	56,3
	Ribeira Grande (rib. Grande)	2018/19	181,6	114,6	63,1

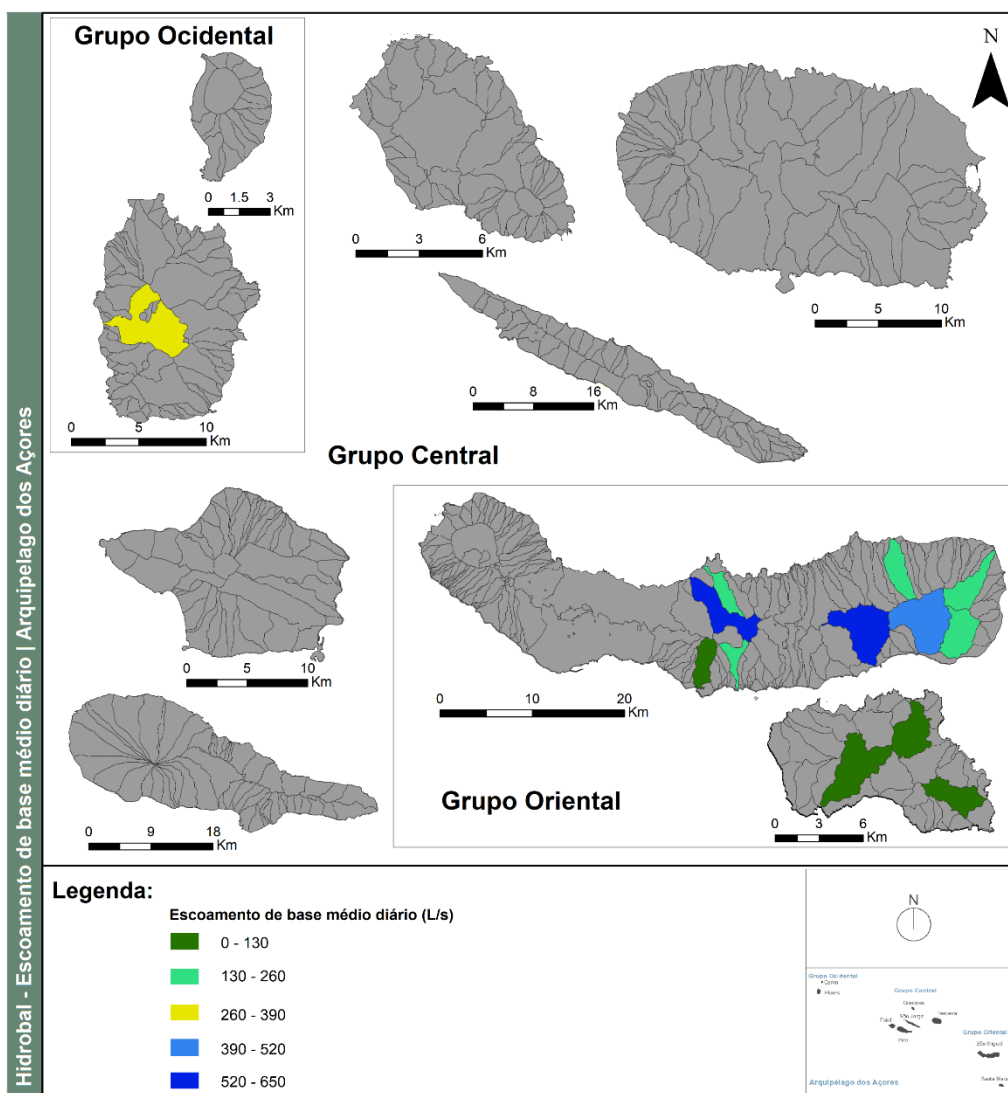


Figura 3.2_ Escoamento de base médio diário no Arquipélago dos Açores.

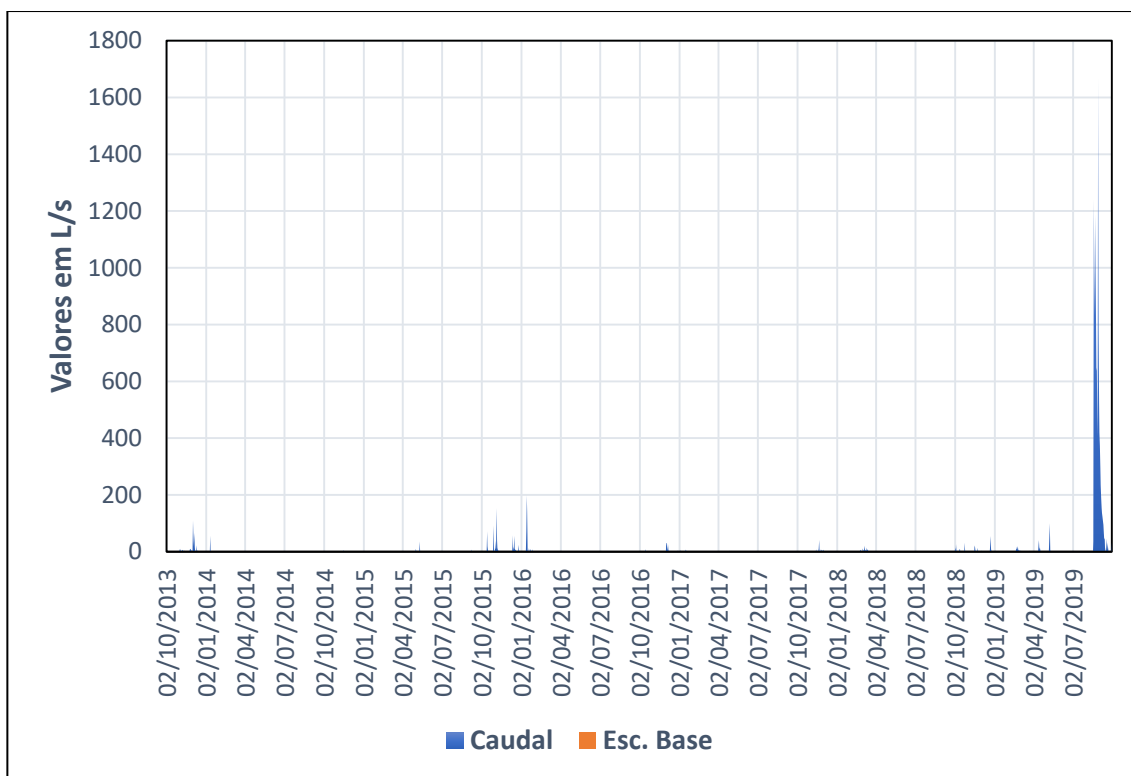


Figura 3.3_ Caudal médio diário e escoamento de base estimado na estação hidrométrica do Cachação (Out13 - Set19).

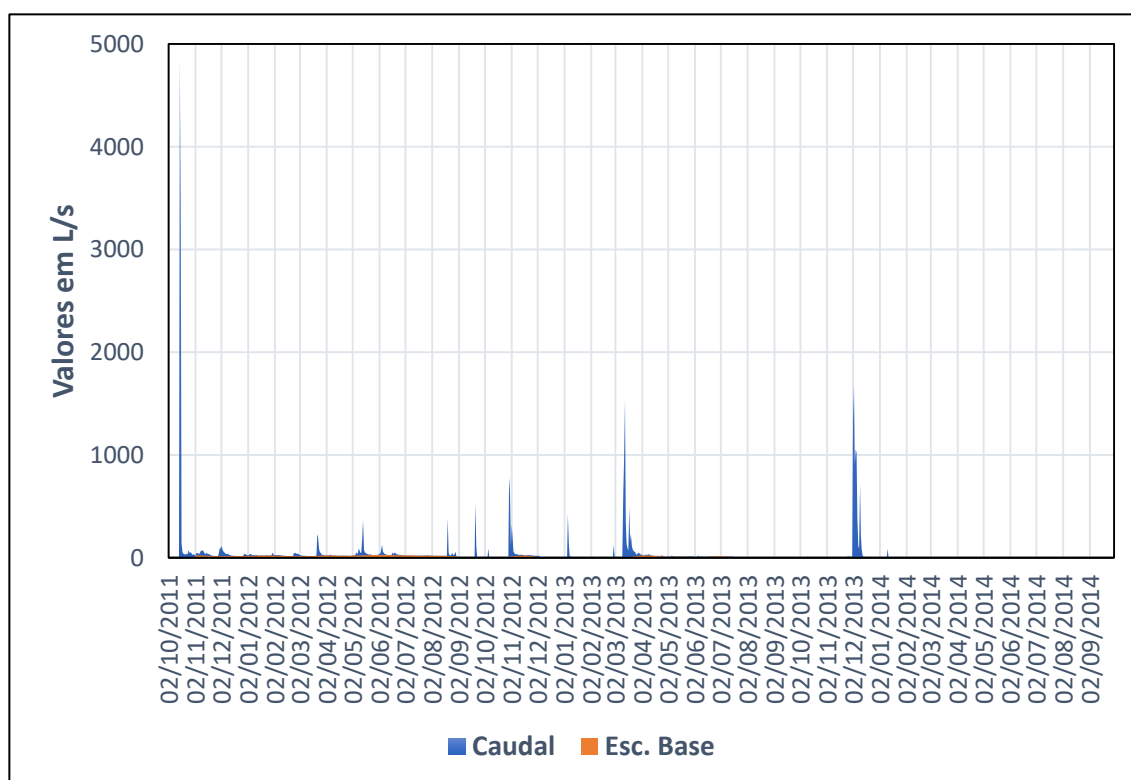


Figura 3.4_ Caudal médio diário e escoamento de base estimado na estação hidrométrica de Santa Bárbara (OUT11-SET14).

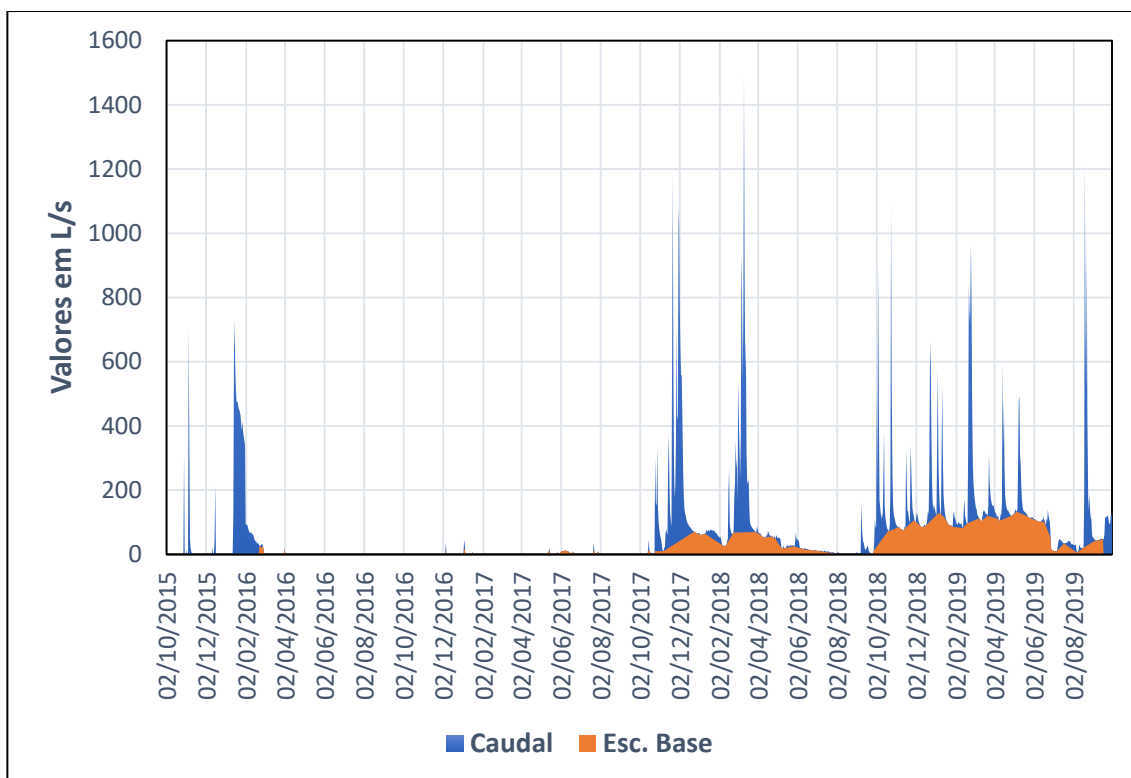


Figura 3.5_ Caudal médio diário e escoamento de base estimado na estação hidrométrica de Santa Bárbara (OUT15-SET19)

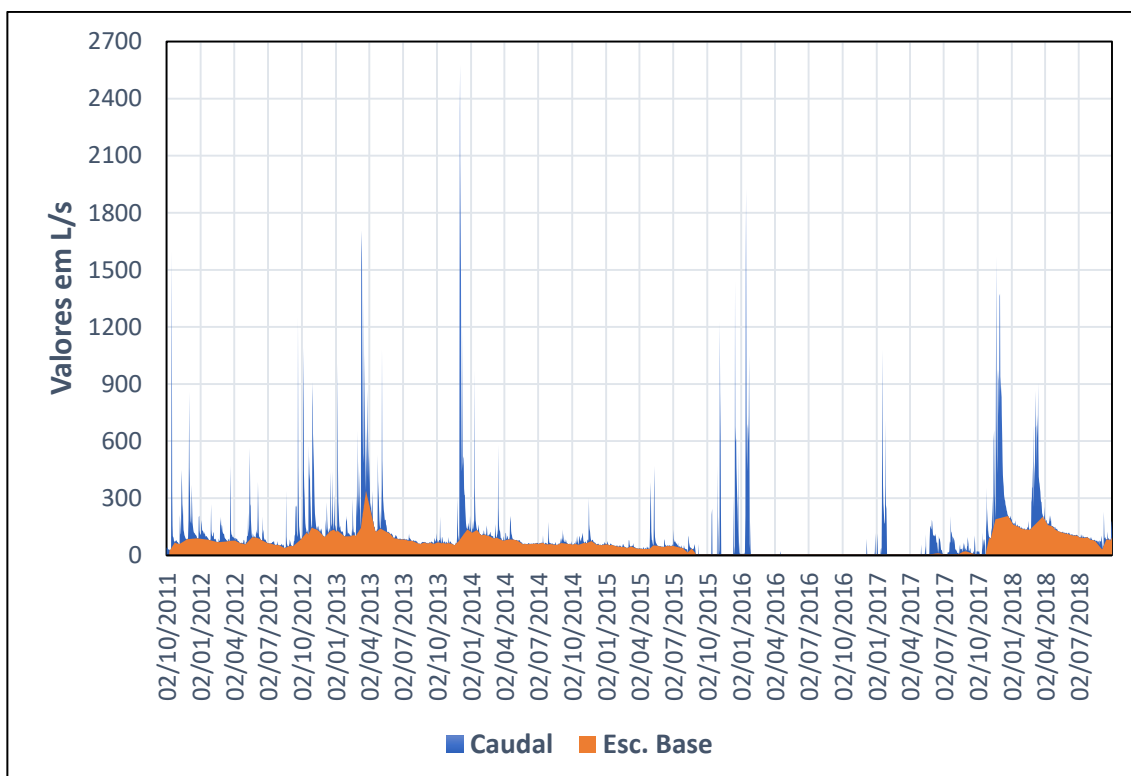


Figura 3.6_ Caudal médio diário e escoamento de base estimado na estação hidrométrica de São Francisco (OUT11-SET18).

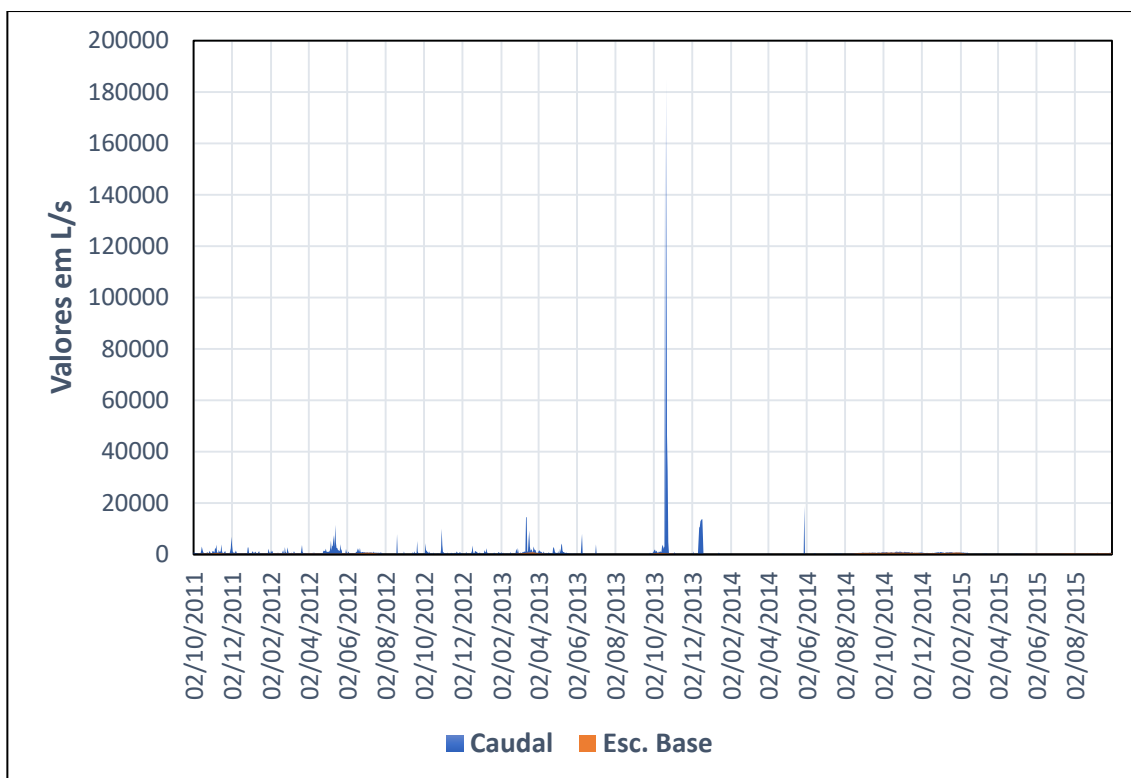


Figura 3.7 _ Caudal médio diário e escoamento de base estimado na estação hidrométrica de Guilherme (OUT11-SET15).

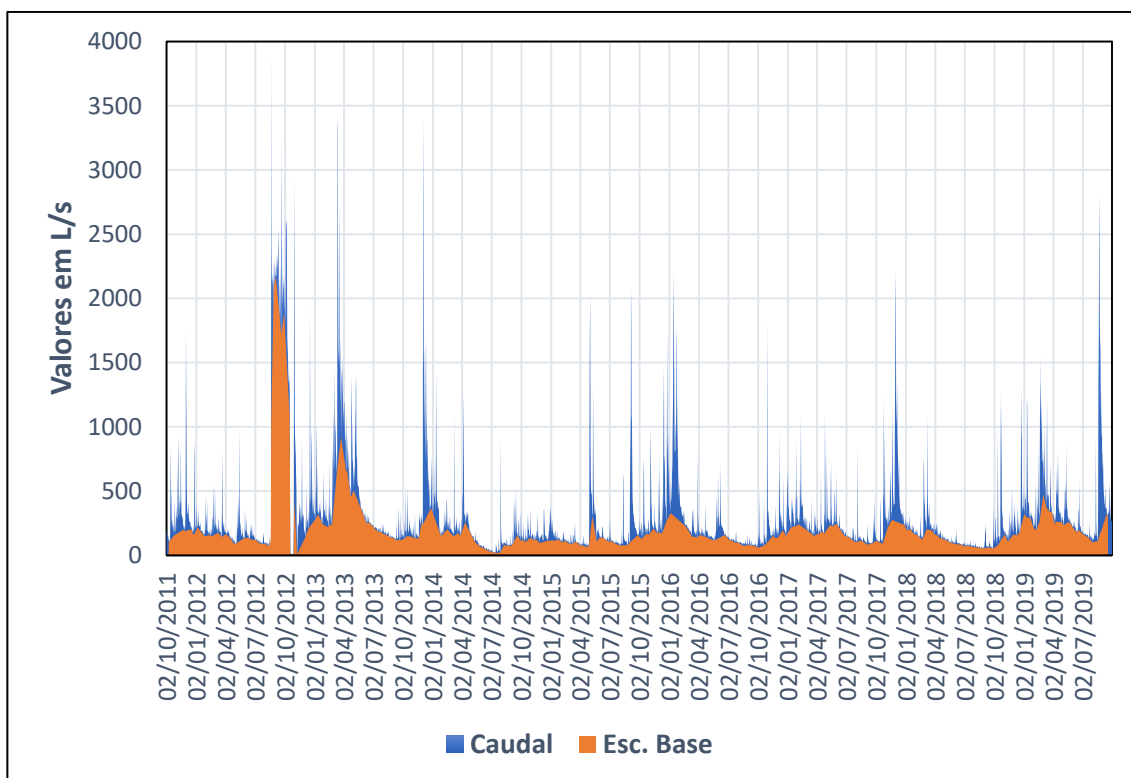


Figura 3.8 _ Caudal médio diário e escoamento de base estimado na estação hidrométrica de Lomba da Erva (OUT11-SET19).

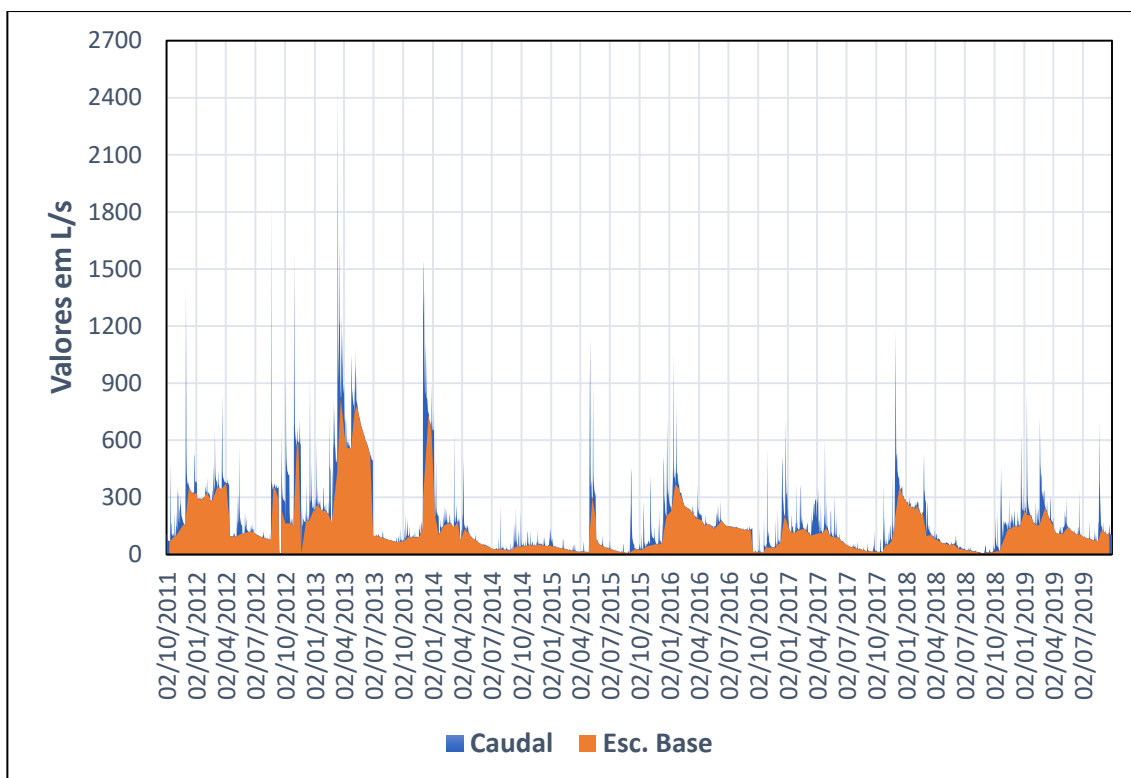


Figura 3.9_ Caudal médio diário e escoamento de base estimado na estação hidrométrica de Bispos (OUT11-SET19).

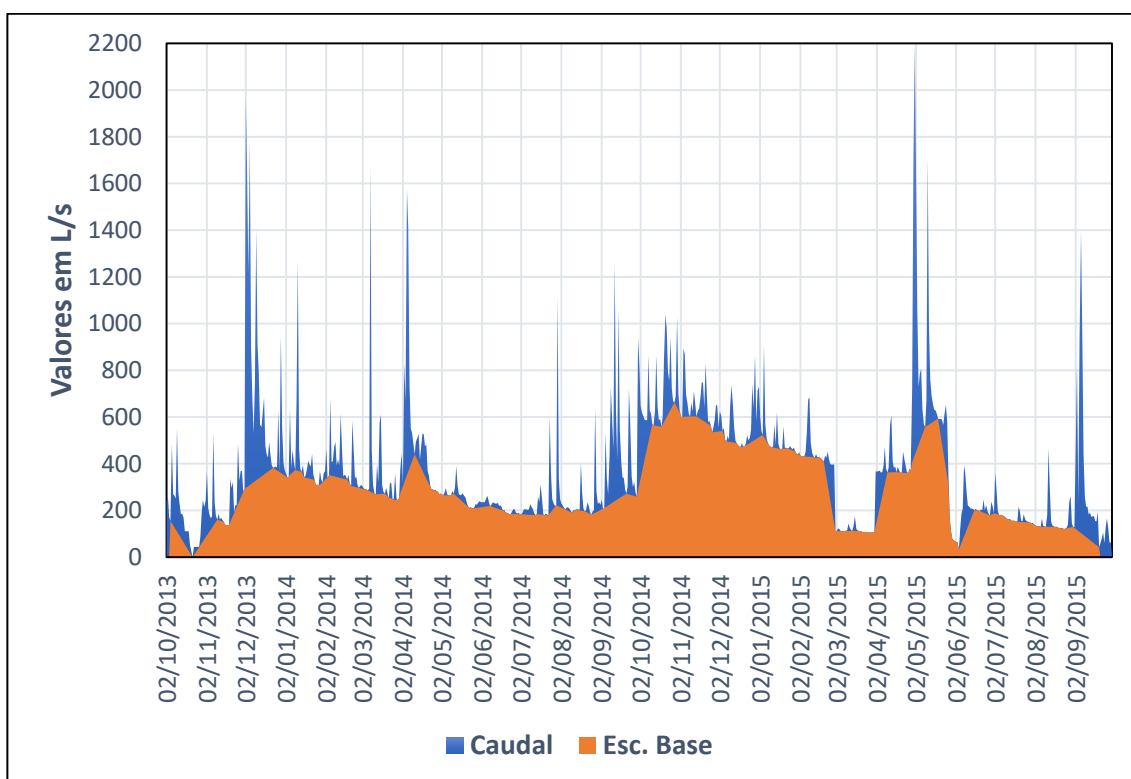


Figura 3.10_ Caudal médio diário e escoamento de base estimado na estação hidrométrica de Purgar (OUT13-SET15).

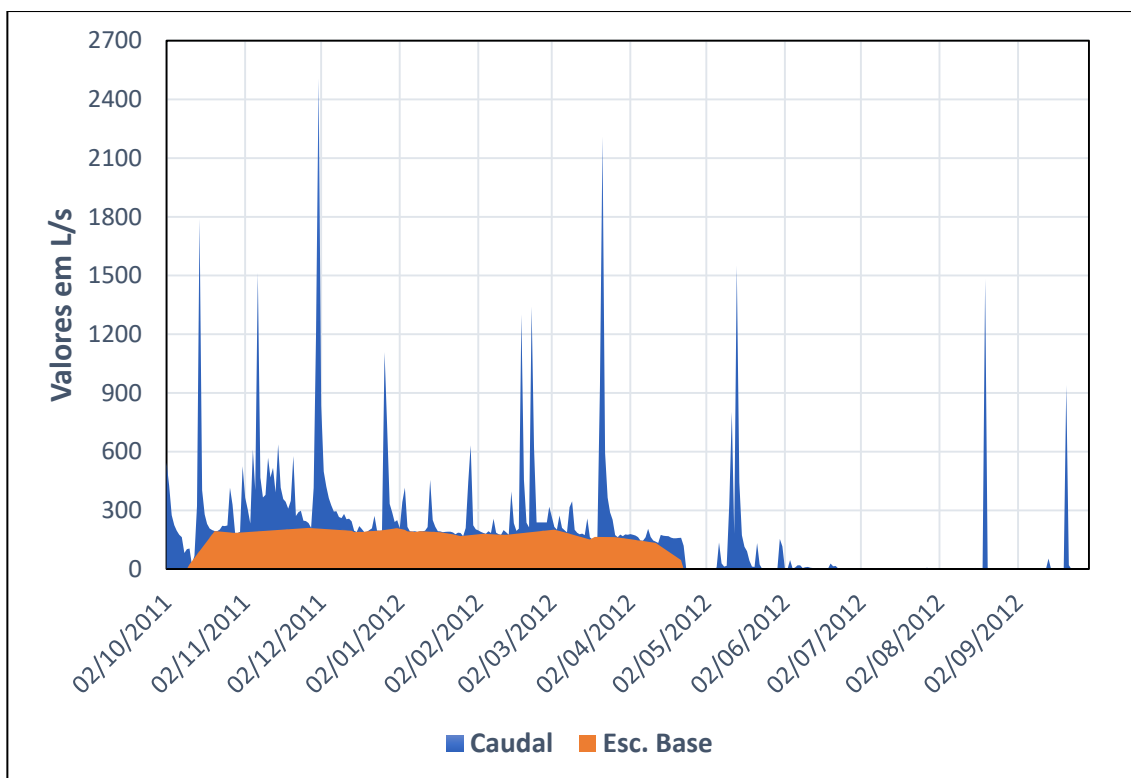


Figura 3.11_ Caudal médio diário e escoamento de base estimado na estação hidrométrica de Caldeirões (OUT11-SET12).

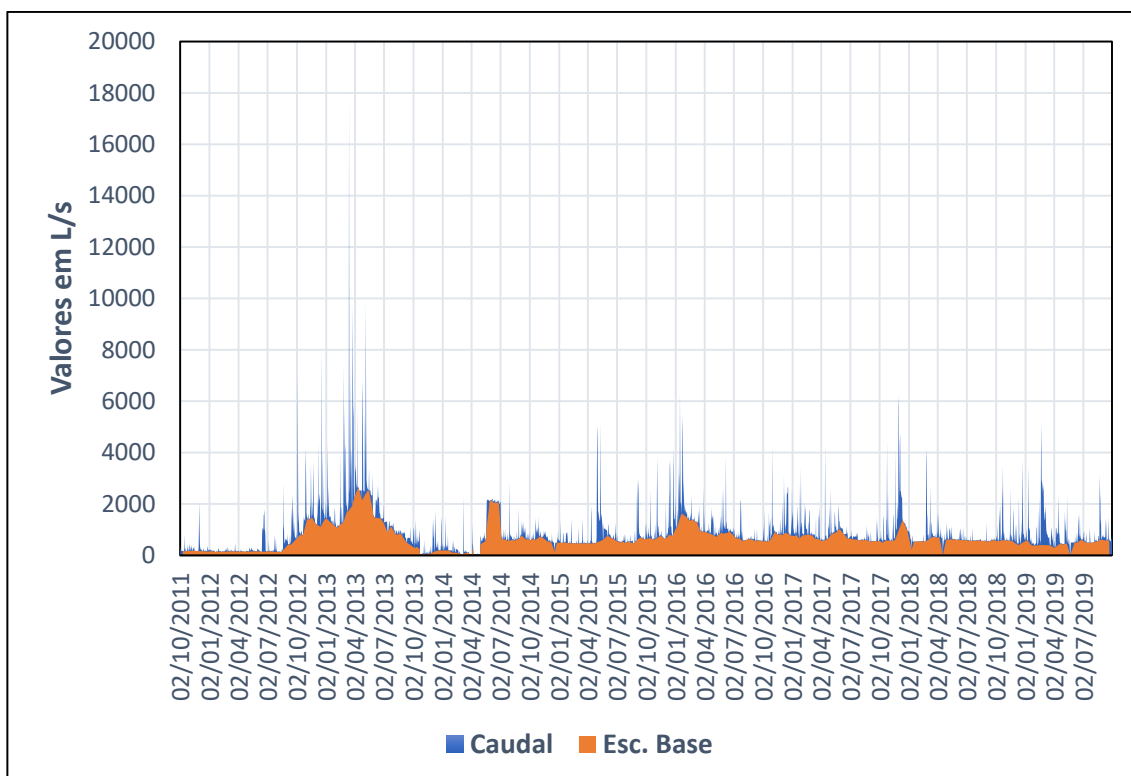


Figura 3.12_ Caudal médio diário e escoamento de base estimado na estação hidrométrica de Lombo Frio (OUT11-SET19).

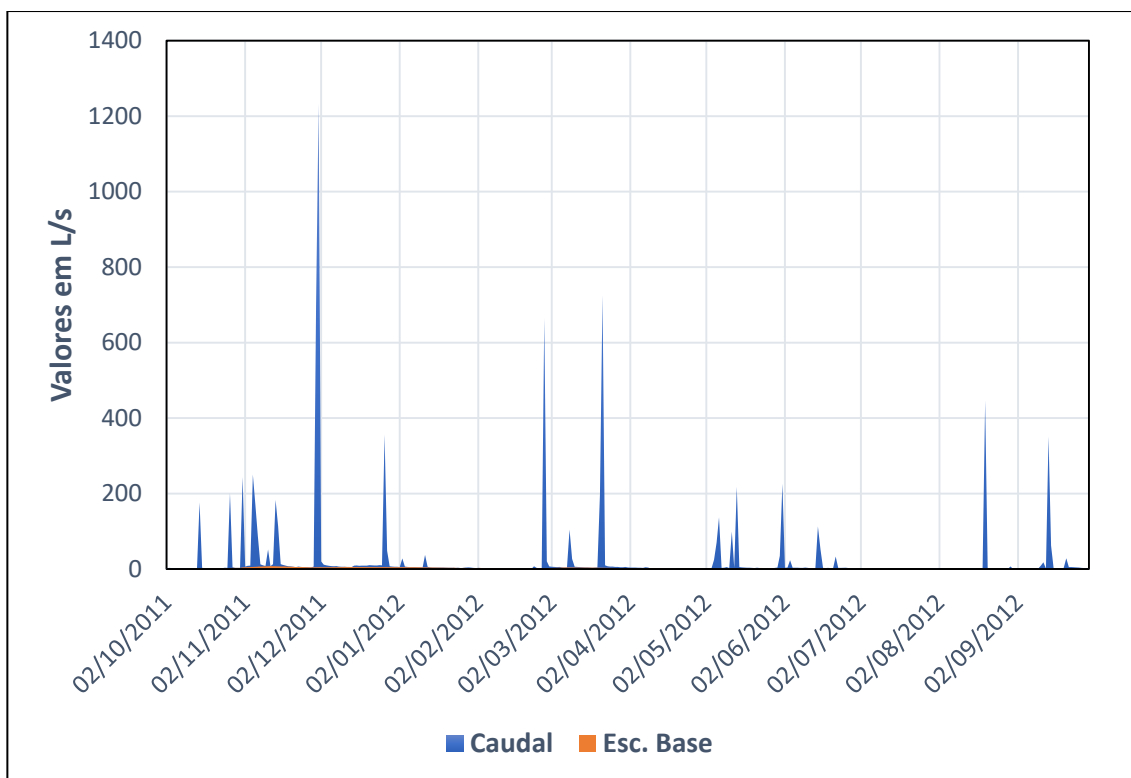


Figura 3.13_ Caudal médio diário e escoamento de base estimado na estação hidrométrica de Salto da Inglesa (OUT11-SET12)

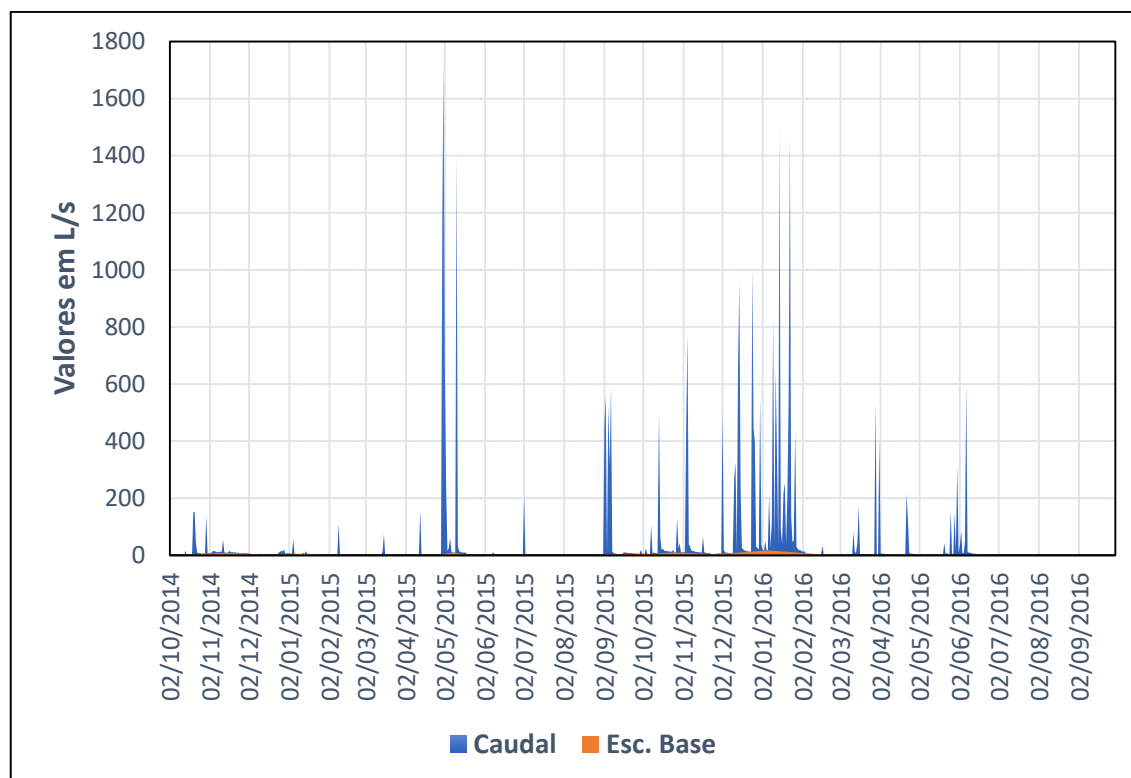


Figura 3.14_ Caudal médio diário e escoamento de base estimado na estação hidrométrica de Salto da Inglesa (OUT14-SET16).

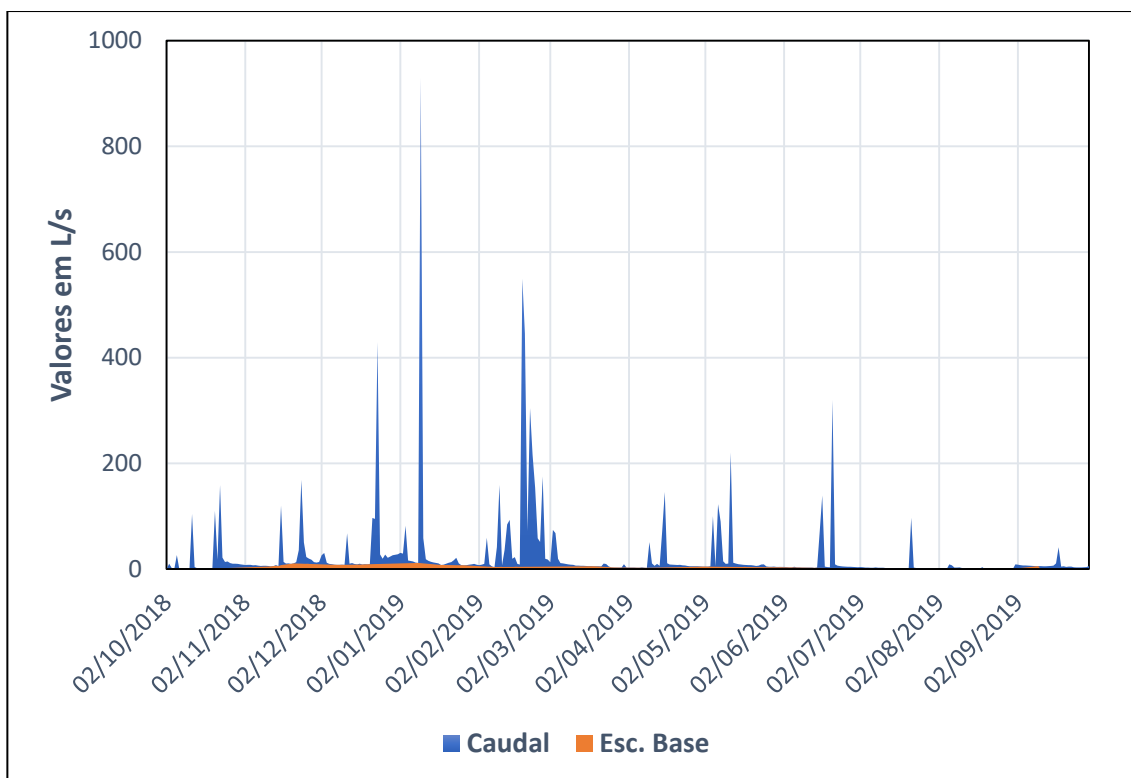


Figura 3.15_ Caudal médio diário e escoamento de base estimado na estação hidrométrica de Salto da Inglesa (OUT18-SET19).

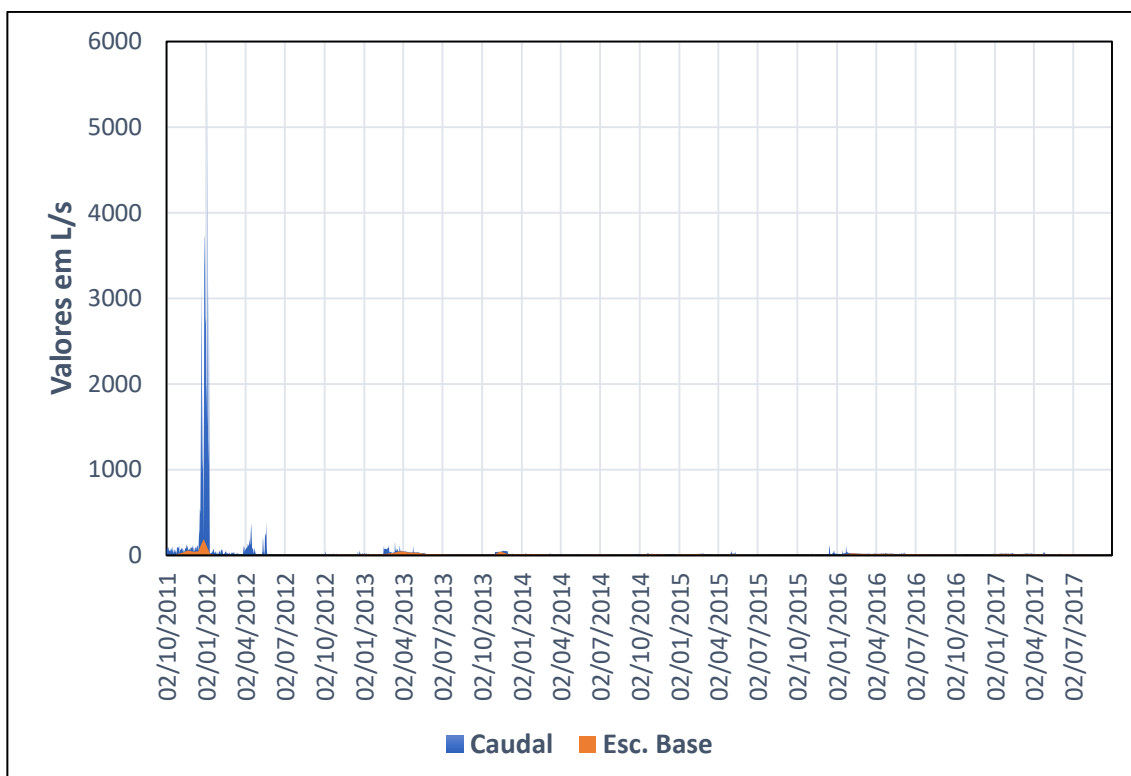


Figura 3.16_ Caudal médio diário e escoamento de base estimado na estação hidrométrica de Água de Pau (OUT11-SET17).

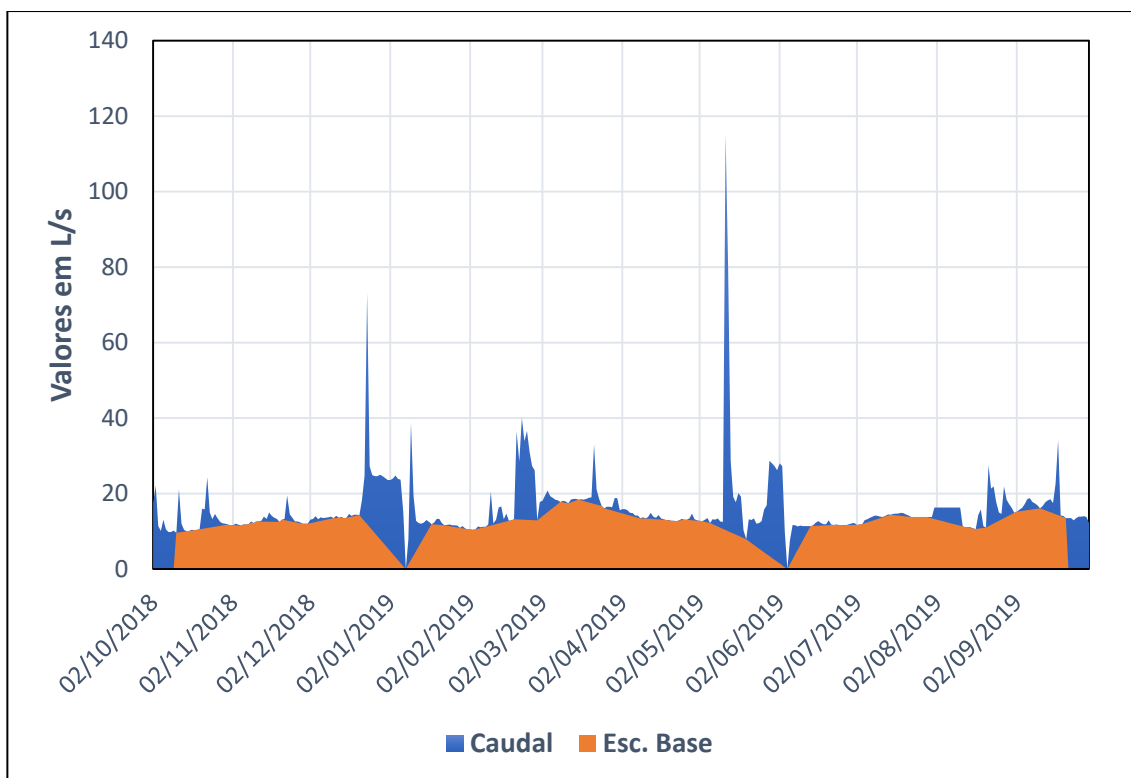


Figura 3.17_ Caudal médio diário e escoamento de base estimado na estação hidrométrica de Água de Pau (OUT18-SET19).

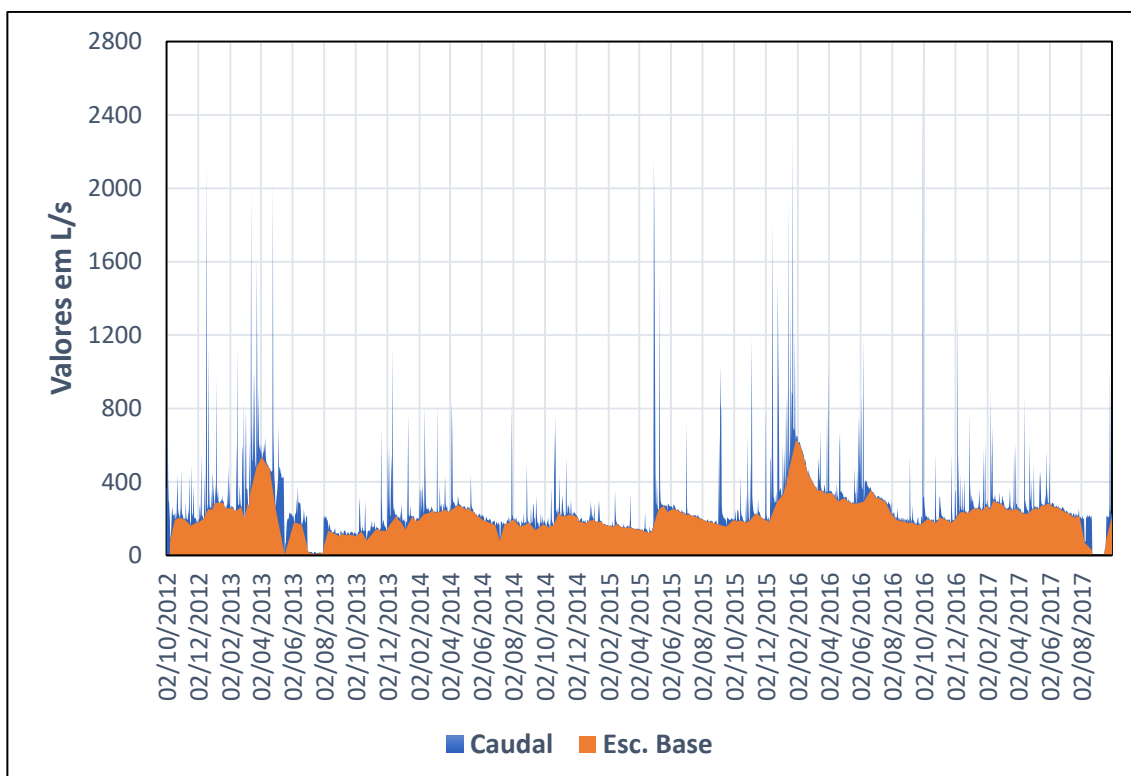


Figura 3.18_ Caudal médio diário e escoamento de base estimado na estação hidrométrica de Praia (OUT12-SET17).

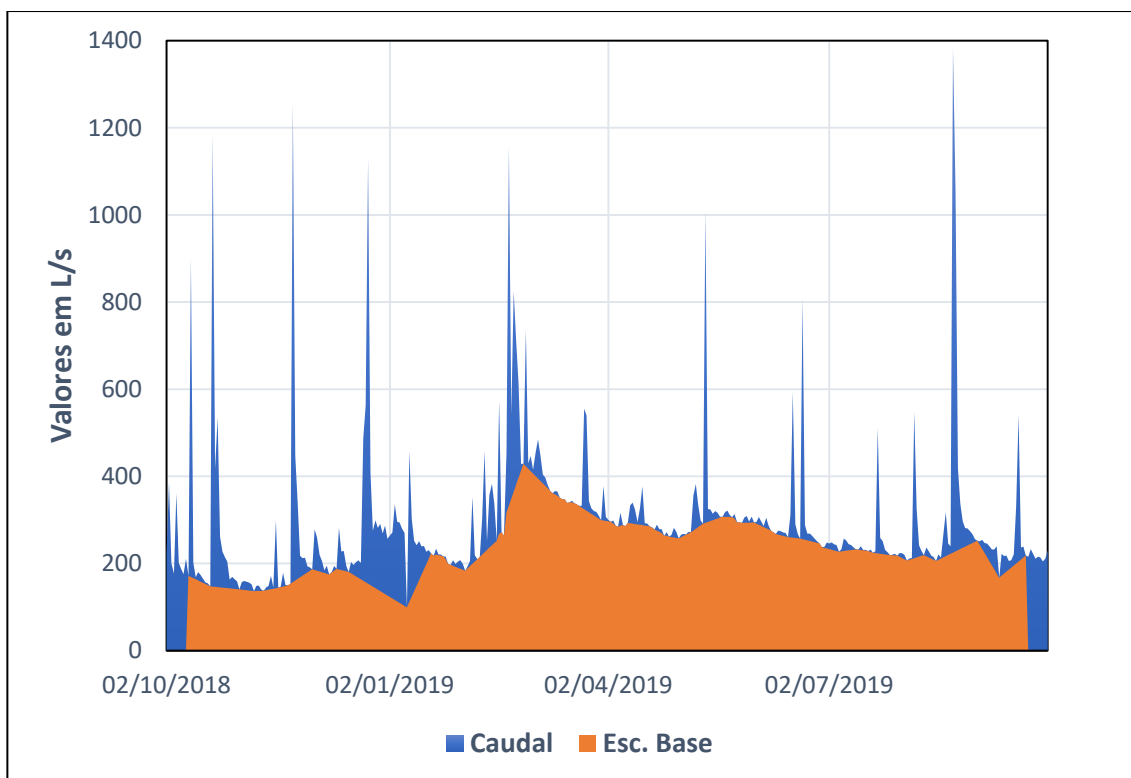


Figura 3.19_ Caudal médio diário e escoamento de base estimado na estação hidrométrica de Praia (OUT18-SET19).

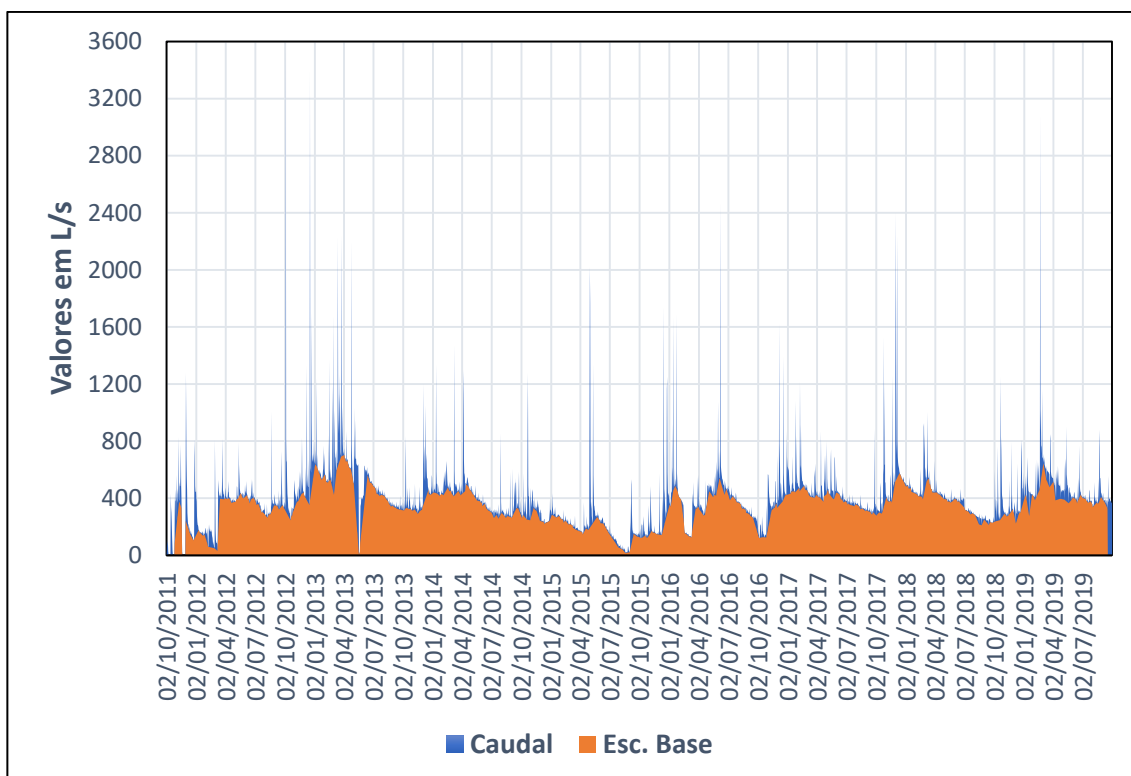


Figura 3.20_ Caudal médio diário e escoamento de base estimado na estação hidrométrica de Rib³ Grande (OUT11-SET19).

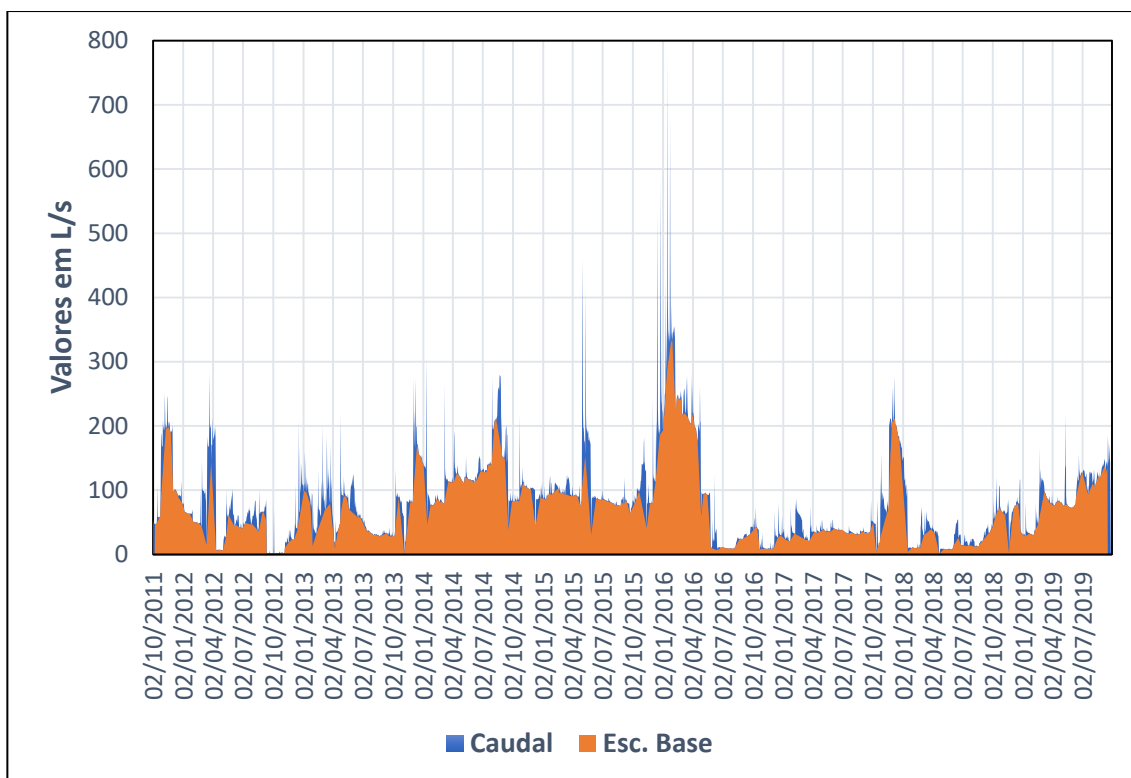


Figura 3.21_ Caudal médio diário e escoamento de base estimado na estação hidrométrica de Pernada (OUT11-SET19).

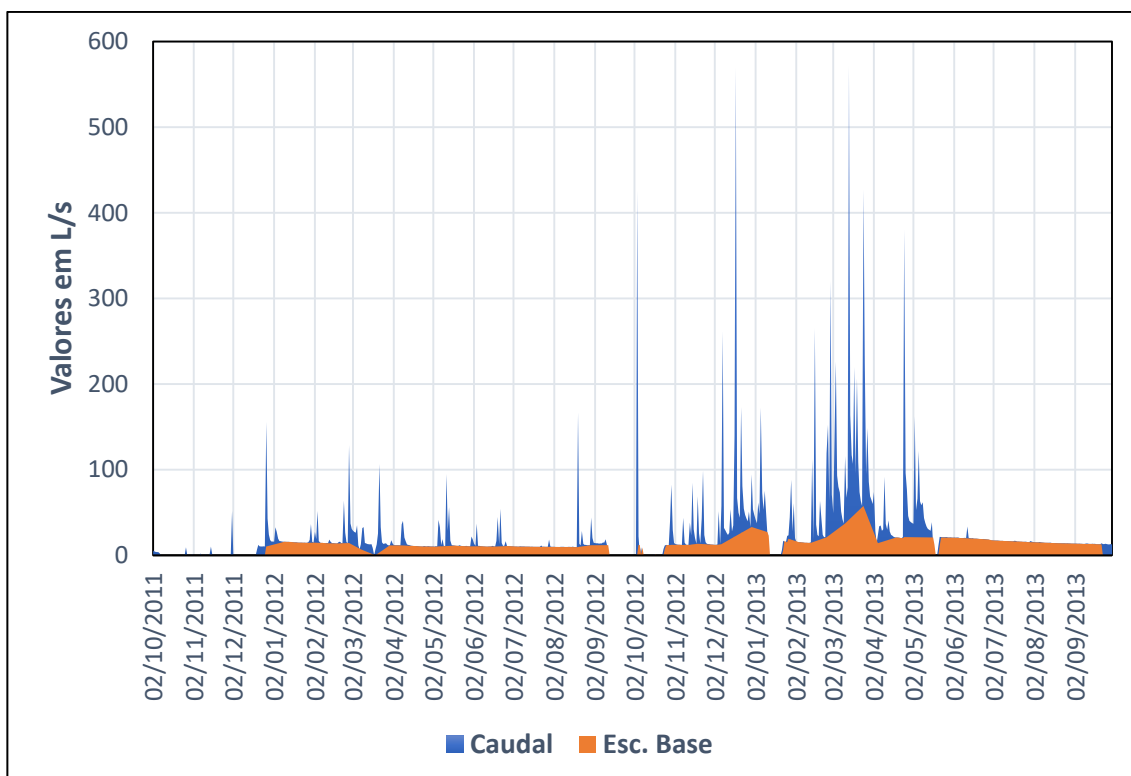


Figura 3.22_ Caudal médio diário e escoamento de base estimado na estação hidrométrica de Lombadas (OUT11-SET13).

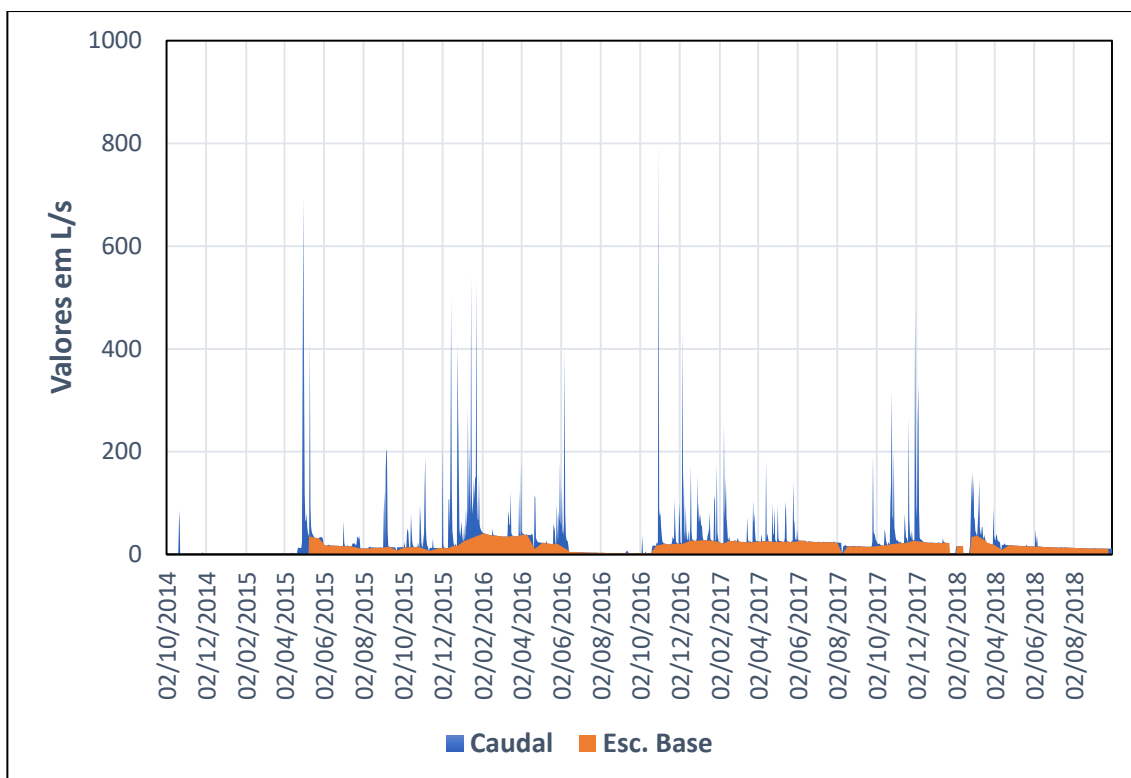


Figura 3.23_ Caudal médio diário e escoamento de base estimado na estação hidrométrica de Lombadas (OUT14-SET18).

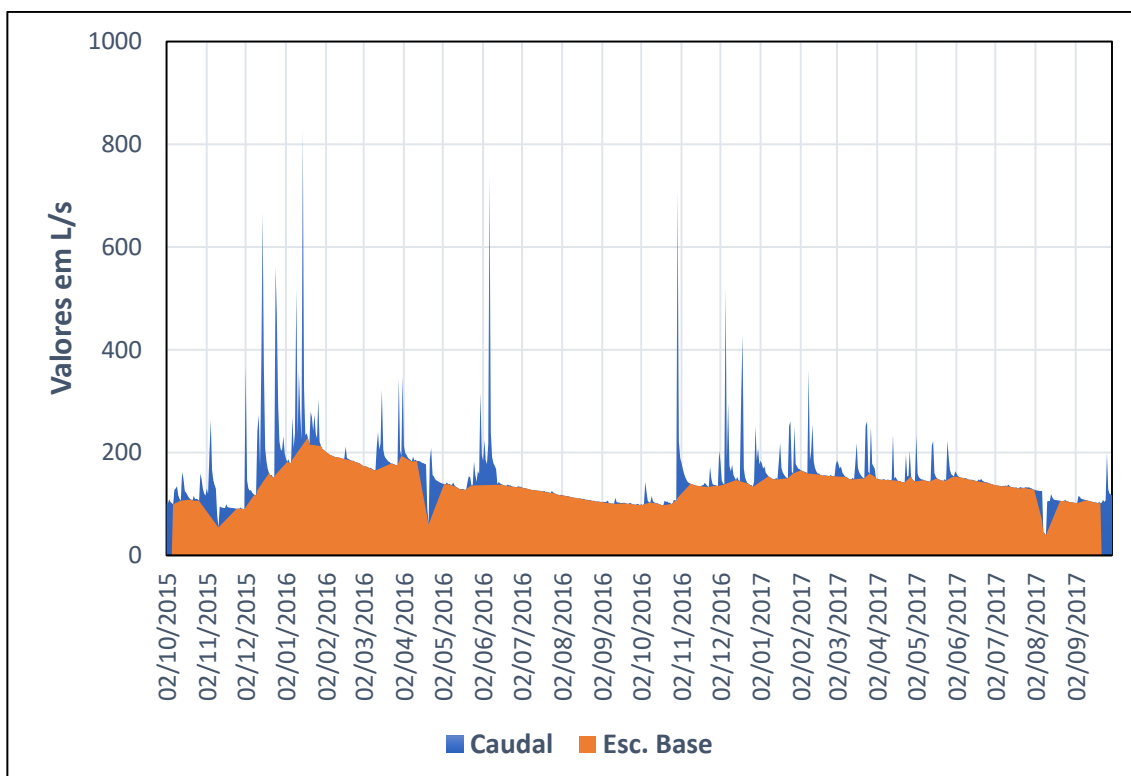


Figura 3.24_ Caudal médio diário e escoamento de base estimado na estação hidrométrica de Rosário (OUT15-SET17).

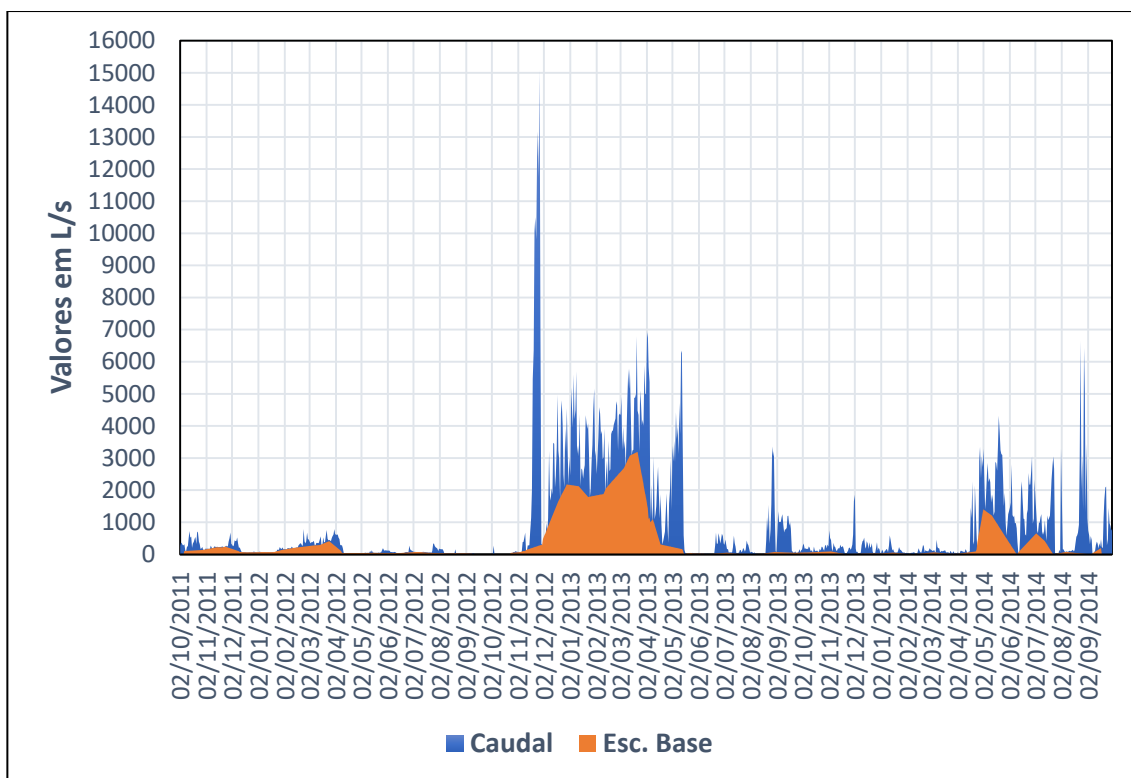


Figura 3.25_ Caudal médio diário e escoamento de base estimado na estação hidrométrica de Gramas (OUT11-SET14).

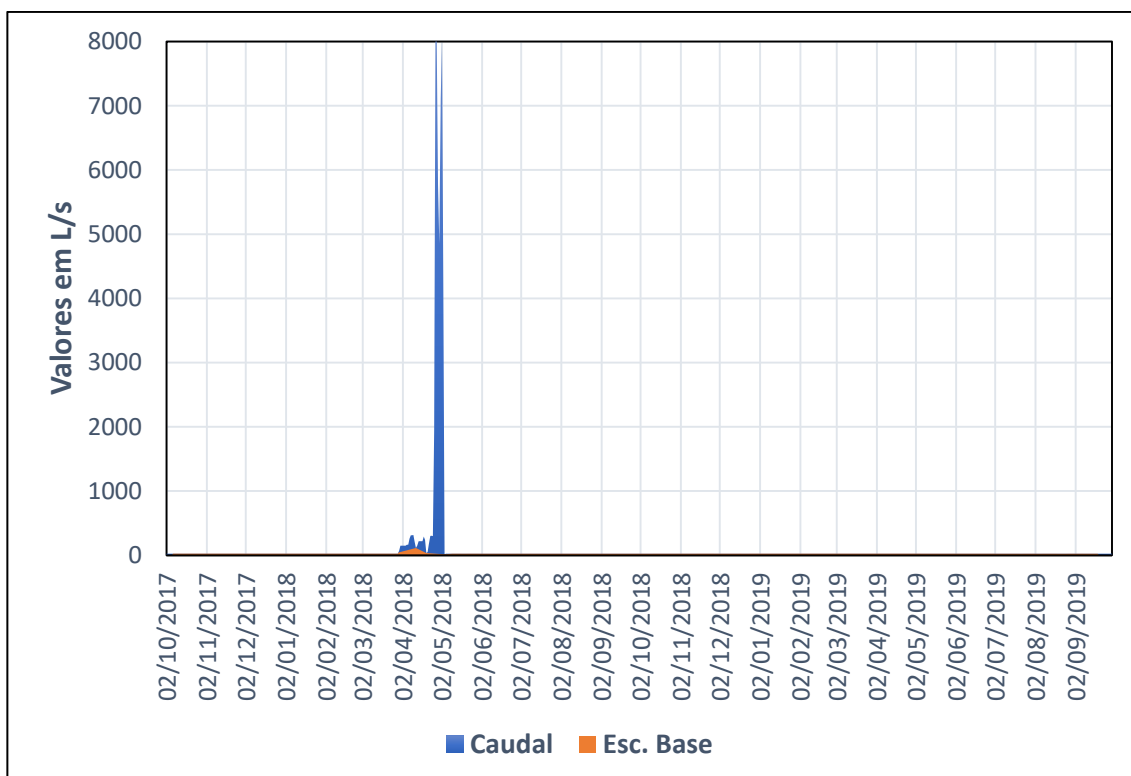


Figura 3.26_ Caudal médio diário e escoamento de base estimado na estação hidrométrica de Gramas (OUT17-SET19).

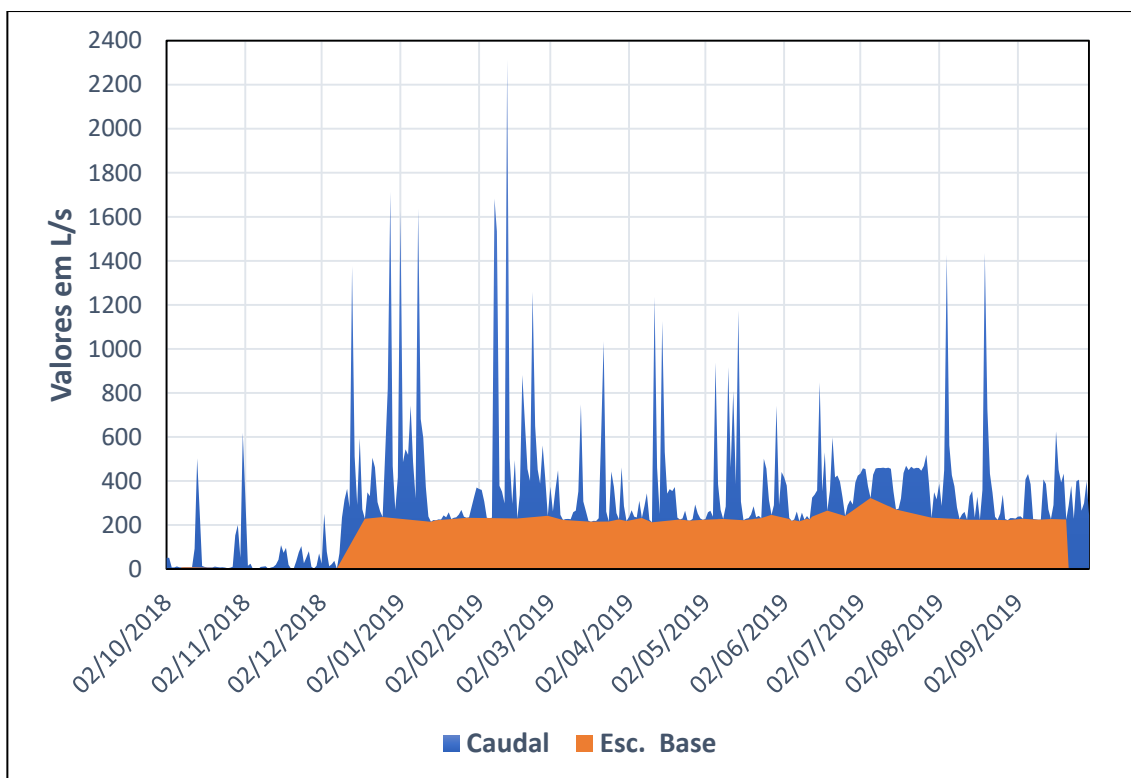


Figura 3.27_ Caudal médio diário e escoamento de base estimado na estação hidrométrica de Ferreiro (OUT18-SET19).

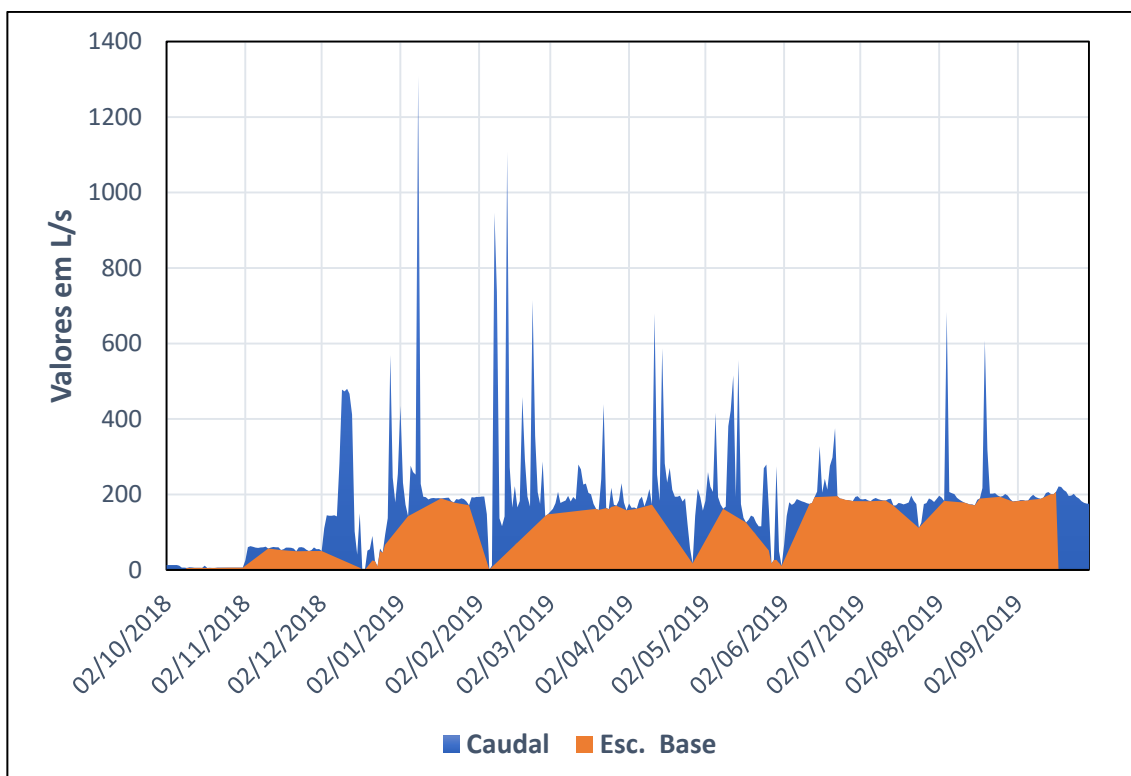


Figura 3.28_ Caudal médio diário e escoamento de base estimado na estação hidrométrica de Rib³ Grande (OUT18-SET19).

4. AVALIAÇÃO DA RECARGA AQUÍFERA

4.1. Quantificação e distribuição da recarga

Com base nos resultados produzidos no capítulo 2 foi estimada a recarga para as massas de água subterrânea delimitadas na RH9. O valor bruto da recarga corresponde aos recursos hídricos subterrâneos renováveis de cada massa de água, na medida que ambos os valores são equivalentes quando se considera um prazo de tempo alargado (Castany, 1963), que no caso corresponde a um ano. O volume de recarga aquífera sugere a ocorrência de um volume total de recursos hídricos subterrâneos renováveis igual a 1523,9 hm³/ano, com valores entre o mínimo de 7,7 hm³/ano (Corvo) e o máximo igual a 518 hm³/ano (Pico) (mediana= 159,9 hm³/ano; Quadro 4.1). Nas ilhas de São Miguel, Terceira, São Jorge e Pico, observam-se valores superiores à mediana regional (Figura 4.1).

As taxas de recarga que estiveram na base da determinação dos recursos hídricos subterrâneos variam, para a totalidade do arquipélago, entre 10,2% e 61,3% do valor da pluviosidade (Quadro 4.2). Os resultados obtidos permitem constatar que os valores mais elevados são observados nas ilhas do Pico, Faial, São Jorge, São Miguel e Terceira, nomeadamente em sistemas aquíferos constituídos predominantemente por escoadas lávicas basálticas *s.l.* recentes, intercaladas com níveis piroclásticos da mesma natureza.

A taxa de recarga mais elevada é observada no caso da massa de água subterrânea Montanha 2 (ilha do Pico), correspondendo a uma estimativa compatível com a análise efetuada por Cruz (1997) para a mesma área (Quadro 4.2). Noutras ilhas foi igualmente possível comparar os resultados obtidos com as estimativas patentes noutros estudos: (1) o valor proposto de recarga para a área da massa de água Anjos – Vila do Porto por Cruz (1992), com base em balanços hídricos sequenciais diários e de cloretos, é igual a 14,6%, e desta forma semelhante ao agora indicado (10,8%), (2) na ilha de São Miguel, Ferreira (1991) propõe para uma área grosseiramente correspondente à massa de água subterrânea Ponta Delgada – Fenais da Luz uma taxa de recarga de 45%, obtida a partir de um balanço hídrico sequencial diário, similar ao valor de 34,2% obtido no presente trabalho e, (3) Rodrigues (2002) apresenta uma taxa média de 31,3% para a ilha Terceira, semelhante ao valor médio calculado no presente estudo (27,4%).

Quadro 4.1_ Recursos hídricos subterrâneos renováveis por ilha e intervalo de taxas de recarga nas várias massas de água delimitadas.

Ilha	Recursos Subterrâneos (hm ³ /ano)	Taxa de Recarga	
		Máx. (%)	Mín. (%)
Santa Maria	17,03	16,1	8,3
São Miguel	322,66	34,2	21,7
Terceira	214,26	33,7	17,2
Graciosa	11,83	21,7	18,4
São Jorge	184,98	39,9	34,2
Pico	517,99	61,3	24,5
Faial	87,49	43,7	22,2
Flores	159,99	31,3	27,2
Corvo	7,69	23,8	23,8

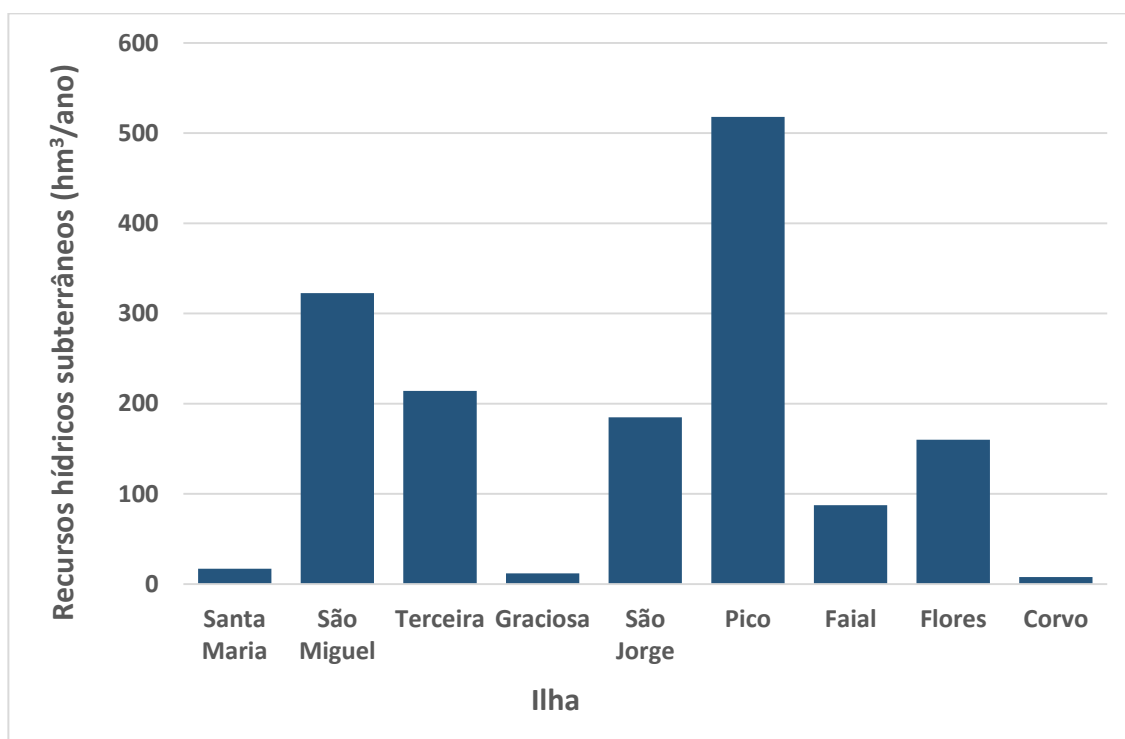


Figura 4.1_ Histograma relativo aos recursos hídricos subterrâneos renováveis nas várias ilhas dos Açores.

No Quadro 4.2 apresentam-se, igualmente, os recursos hídricos subterrâneos renováveis por massa de água subterrânea delimitada, valores que, como atrás referido, correspondem às disponibilidades potenciais de cada uma. No âmbito do Plano Regional da Água, foi então considerada uma fração de recursos exploráveis de 10% do volume estimado. No âmbito dos 1.º e 2.º ciclos de planeamento da Região Hidrográfica dos Açores (RH9) afigurou-se que esta fração disponível corresponderia a 60% dos recursos estimados a longo prazo, valor que se estima poder compensar os constrangimentos geológicos e hidrogeológicos e, paralelamente, ser suficiente para assegurar a parte do escoamento subterrâneo de base que alimenta os cursos de água. Neste contexto, apresentam-se também no Quadro 4.2 o volume de recursos hídricos subterrâneos exploráveis de acordo com o critério adotado para a RH9.

Os recursos hídricos subterrâneos renováveis por massa de água subterrânea em cada ilha são igualmente representados por histogramas, o que permite visualizar mais facilmente as massas em que os valores são mais elevados (Santa Maria – Figura 4.2; São Miguel – Figura 4.5; Terceira – Figura 4.12; Graciosa – Figura 4.18; São Jorge – Figura 4.22; Pico – Figura 4.25; Faial – Figura 4.31; Flores – Figura 4.34; Corvo – Figura 4.37). Considerando o valor de mediana de 30,7 hm³/ano (excluindo no cálculo as áreas designadas como indiferenciadas) apenas 50% das massas de água apresentam valores superiores, nomeadamente nos casos das unidades Ponta Delgada – Fenais da Luz, Achada e Nordeste – Faial da Terra, na ilha de São Miguel, Caldeira Guilherme Moniz, Pico Alto e Santa Bárbara, na Terceira, Ocidental e oriental, em São Jorge, Montanha 1, Montanha 2 e Planalto da Achada 2, na ilha do Pico, Vulcão Central, no Faial, e Superior, nas Flores. Nas ilhas de Santa Maria e Graciosa todas as massas de água apresentam recursos hídricos subterrâneos renováveis abaixo do valor da mediana supracitado,

A variação mensal da recarga mostra um padrão de distribuição semelhante na maior parte das massas de água, que se traduz por uma concentração entre os meses de setembro/outubro e março/abril (Santa Maria – Figuras 4.3 a 4.4; São Miguel – Figuras 4.6 a 4.11; Terceira – Figura 4.13 a 4.17; Graciosa – Figura 4.19 a 4.21; São Jorge – Figura 4.23 a 4.24; Pico – Figura 4.26 a 4.30; Faial – Figura 4.32 a 4.33; Flores – Figura 4.35 a 4.36; Corvo – Figura 4.38). Contudo, a duração temporal dos meses em que ocorre recarga na ilha de Santa Maria é mais reduzida, entre dezembro e março na massa de água Anjos – Vila do Porto e novembro a março na massa facho – Pico Alto. Por outro lado, nas massas de água subterrânea montanha 2 e Planalto da Achada 2, ambas na ilha do Pico, a recarga ocorre praticamente ao longo de todo o ano, com exceção do mês de julho.

Quadro 4.2_ Recursos hídricos subterrâneos e disponibilidades exploráveis por massa de água (n.a. – não aplicável).

Ilha	Massa de Água	Precipitação (hm ³ /ano)	Recarga Aquífera		Disponibilidades	
			Taxa (%)	Volume (hm ³ /ano)	Totais (hm ³ /ano)	Exploráveis (hm ³ /ano)
Santa Maria	Facho – Pico Alto	95,10	16,1	15,3	15,3	9,2
	Anjos – Vila do Porto	14,54	10,8	1,2	1,2	0,7
	Indiferenciado s/informação +	6,67	n.a.	0,5	0,5	n.a.
São Miguel	Ponta Delgada - Fenais da Luz	267,11	34,2	91,5	91,5	54,9
	Furnas - Povoação	137,98	21,7	30,0	30,0	18,0
	Achada	119,97	26,0	31,2	31,2	18,7
	Água de Pau	207,64	29,3	60,9	60,9	36,6
	Sete Cidades	131,17	23,0	30,2	30,2	18,1
	Nordeste - Faial da Terra	276,64	28,5	78,9	78,9	47,3
Terceira	Cinco Picos	80,59	28,9	23,3	23,3	14,0
	Central	43,00	17,2	7,4	7,4	4,4
	Caldeira Guilherme Moniz	242,36	32,0	77,5	77,5	46,5
	Pico Alto	151,84	33,7	51,2	51,2	30,7
	Santa Barbara	217,01	25,3	54,9	54,9	33,0
Graciosa	Serra Dormida	4,81	18,4	0,9	0,9	0,5
	Plataforma Stª Cruz - Guadalupe	37,94	21,6	8,2	8,2	4,9
	Serra das Fontes	2,37	21,6	0,5	0,5	0,3
	Indiferenciado	17,75	n.a.	2,2	2,2	n.a.
São Jorge	Ocidental	303,30	39,9	120,9	120,9	72,5
	Oriental	187,46	34,2	64,1	64,1	38,5
Pico	Lajes	35,32	26,1	9,2	9,2	5,5
	Planalto da Achada 1	107,44	24,5	26,4	26,4	15,8
	Montanha 1	129,62	30,6	39,7	39,7	23,8
	Planalto da Achada 2	289,61	35,8	103,6	103,6	62,1
	Montanha 2	553,42	61,3	339,2	339,2	203,5

Ilha	Massa de Água	Precipitação (hm ³ /ano)	Recarga Aquífera		Disponibilidades	
			Taxa (%)	Volume (hm ³ /ano)	Totais (hm ³ /ano)	Exploráveis (hm ³ /ano)
Faial	Capelo	40,71	43,7	17,8	17,8	10,7
	Vulcão Central	306,10	22,2	67,8	67,8	40,7
	Indiferenciado	16,33	<i>n.a.</i>	1,9	1,9	<i>n.a.</i>
Flores	Superior	492,52	31,3	154,0	154,0	92,4
	Inferior	22,07	27,2	6,0	6,0	3,6
Corvo	Vulcão da Caldeira	31,55	23,8	7,5	7,5	4,5
	Indiferenciado	0,88	<i>n.a.</i>	0,2	0,2	<i>n.a.</i>

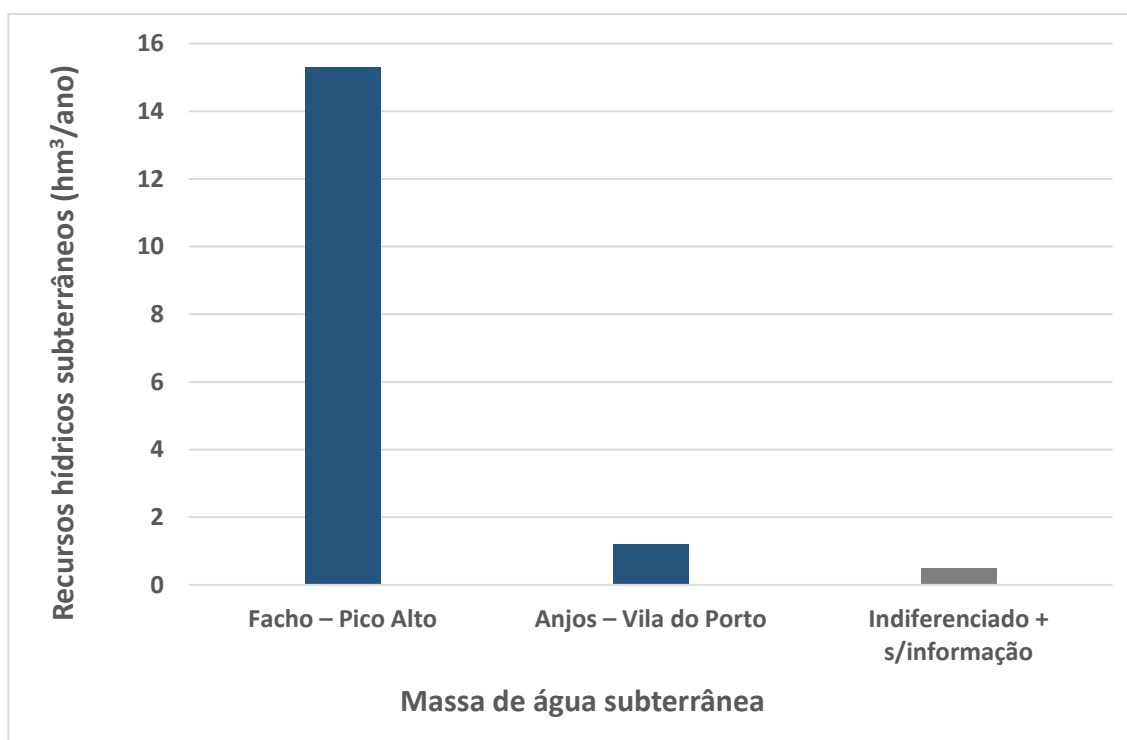


Figura 4.2_ Histograma relativo aos recursos hídricos subterrâneos renováveis na ilha de Santa Maria.

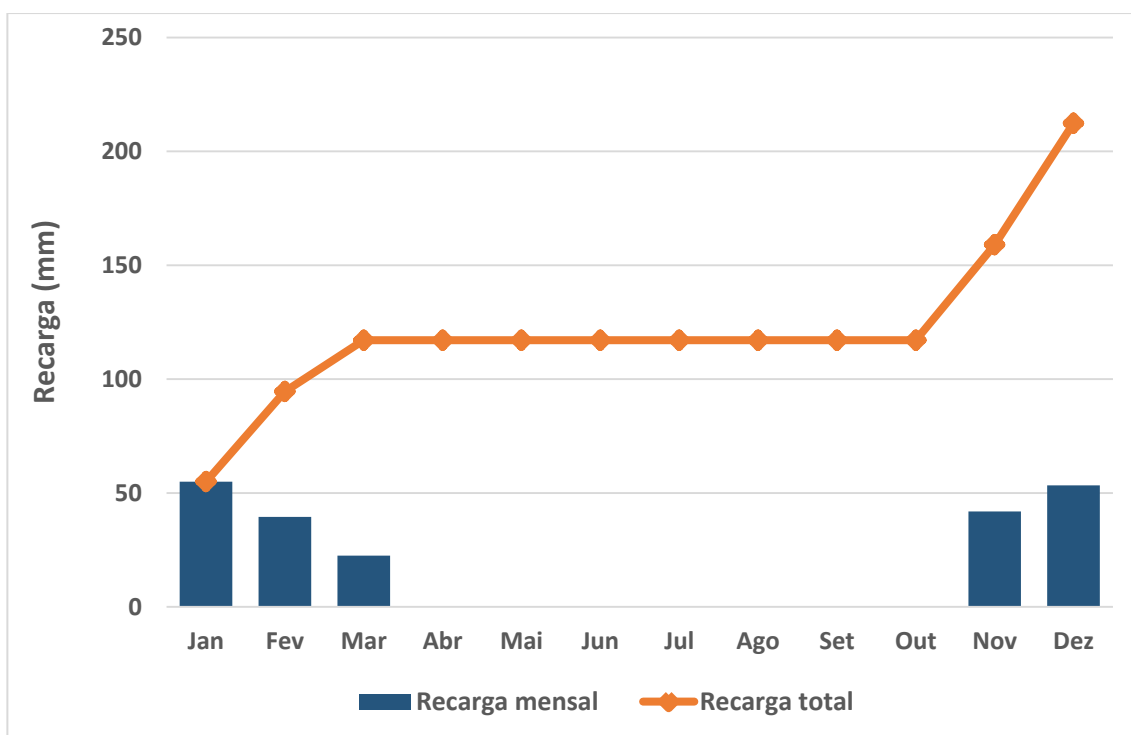


Figura 4.3_ Variação mensal de recarga aquífera na massa de água Facho - Pico Alto na ilha de Santa Maria.

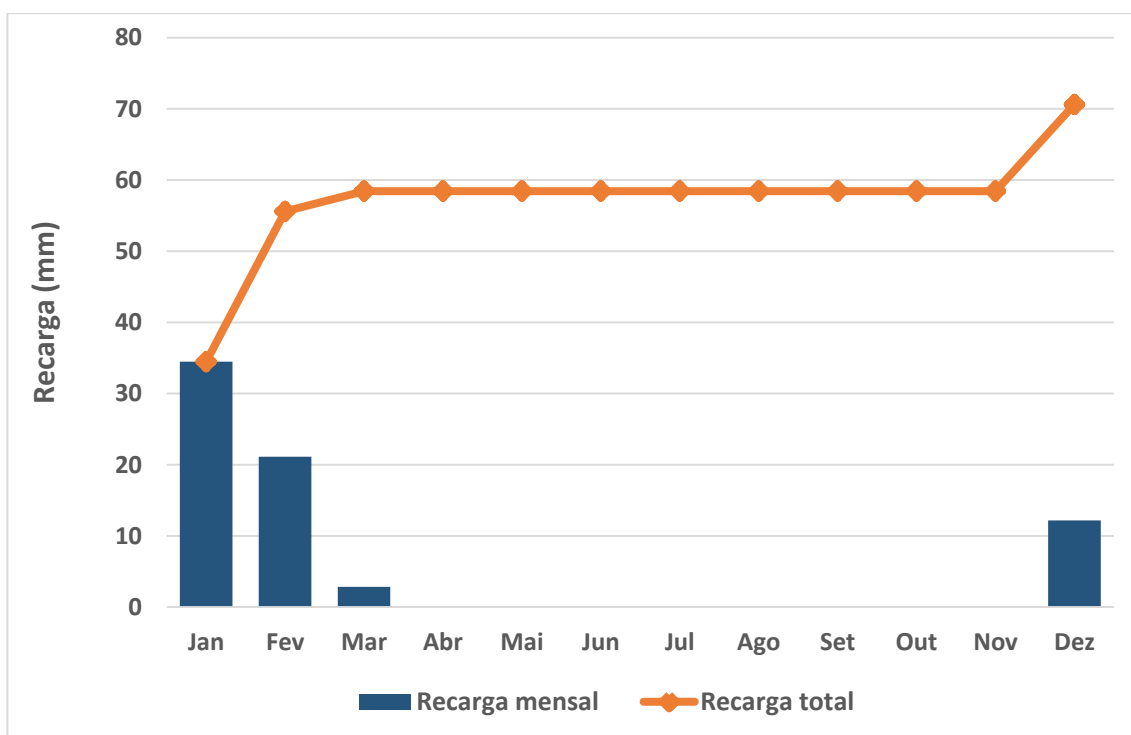


Figura 4.4_ Variação mensal de recarga aquífera na massa de água Anjos - Vila do Porto na ilha de Santa Maria.

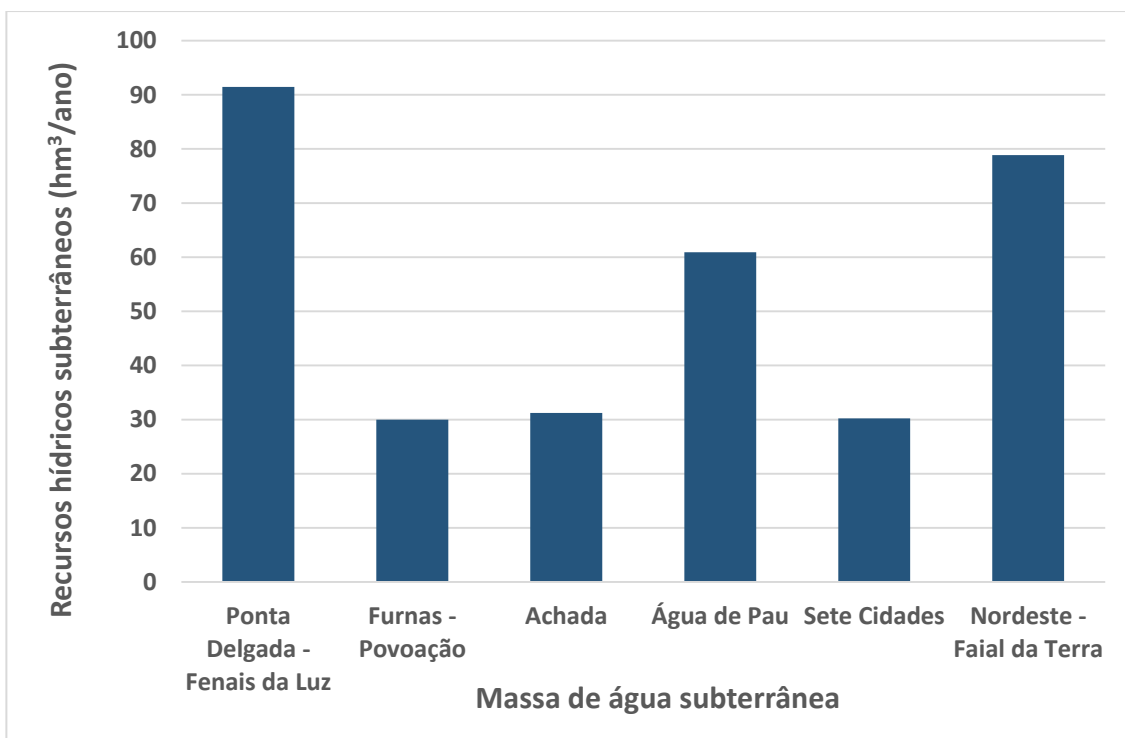


Figura 4.5_ Histograma relativo aos recursos hídricos subterrâneos renováveis na ilha de São Miguel.

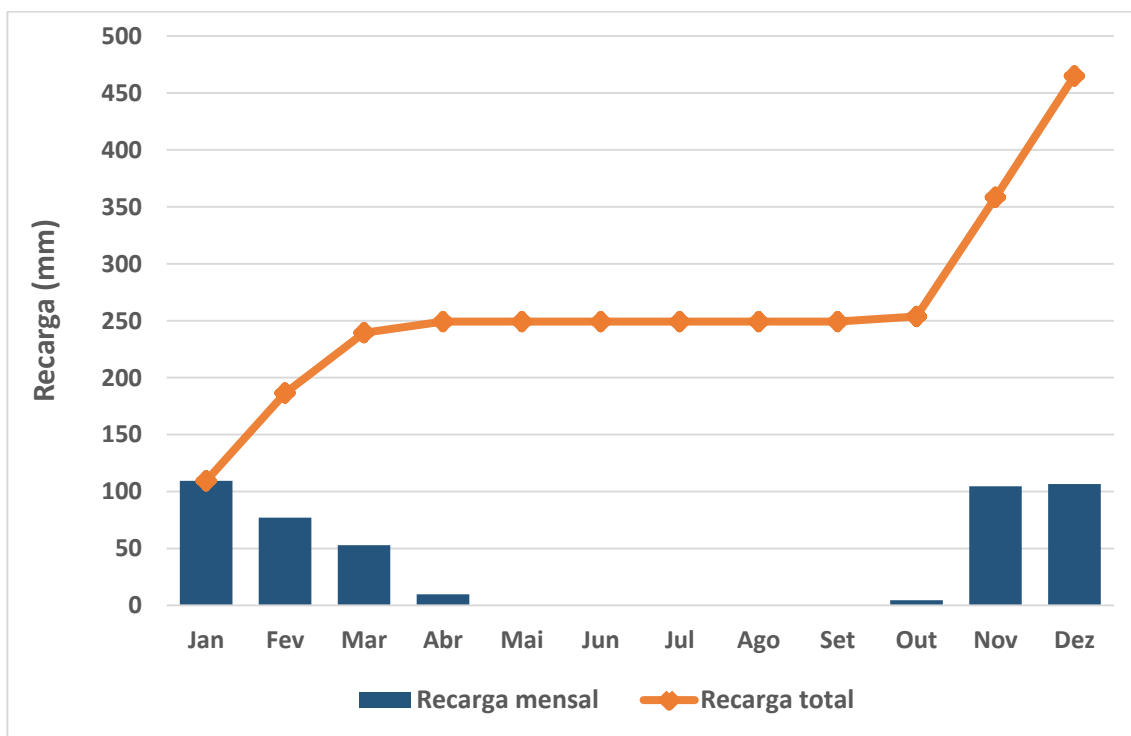


Figura 4.6_ Variação mensal de recarga aquífera na massa de água Ponta Delgada - Fenais da Luz na ilha de São Miguel.

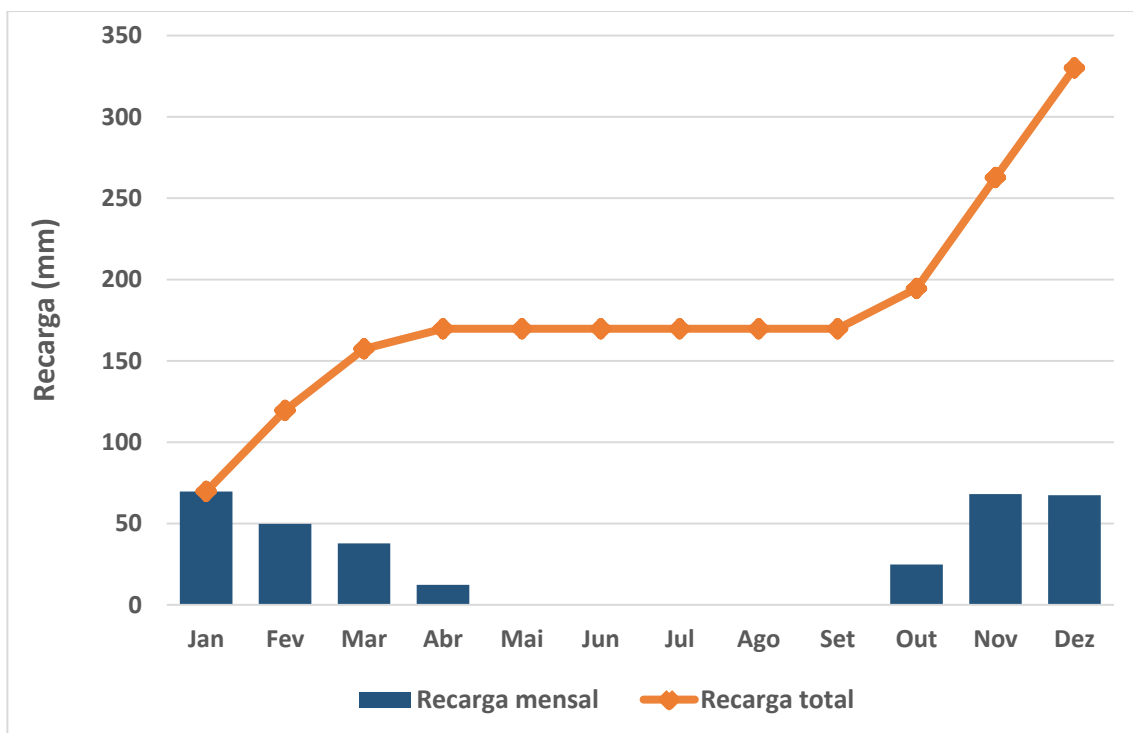


Figura 4.7_ Variação mensal de recarga aquífera na massa de água Furnas - Povoação na ilha de São Miguel.

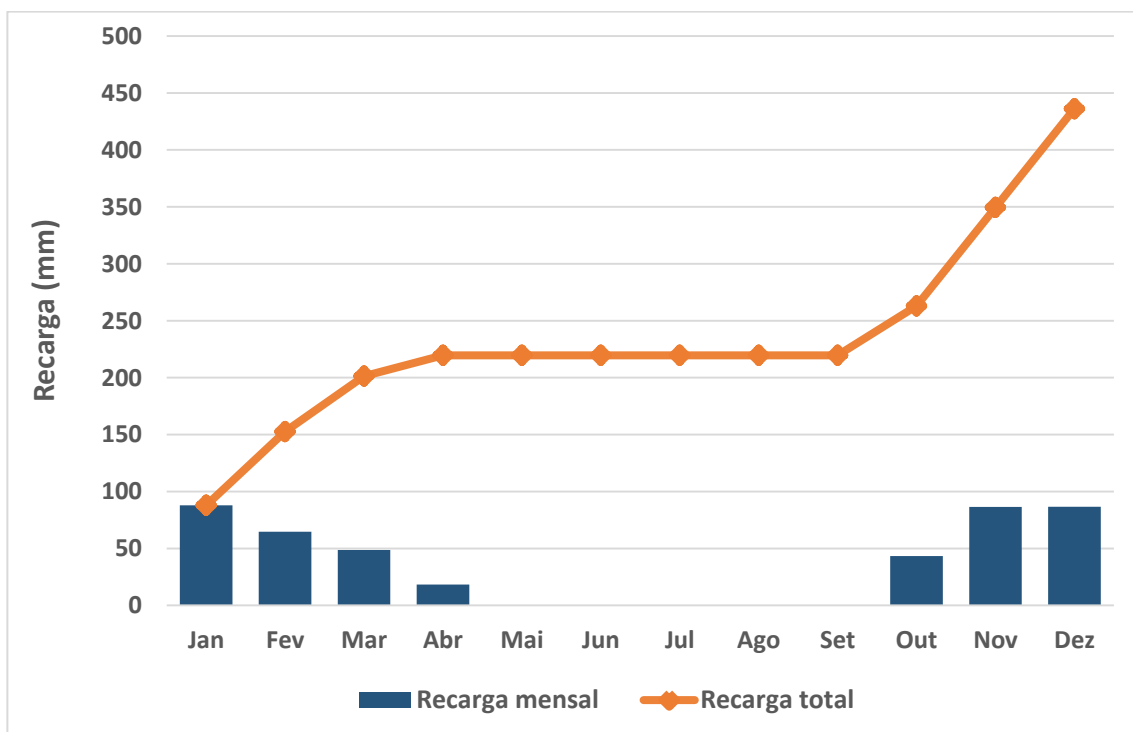


Figura 4.8_ Variação mensal de recarga aquífera na massa de água Achada na ilha de São Miguel.

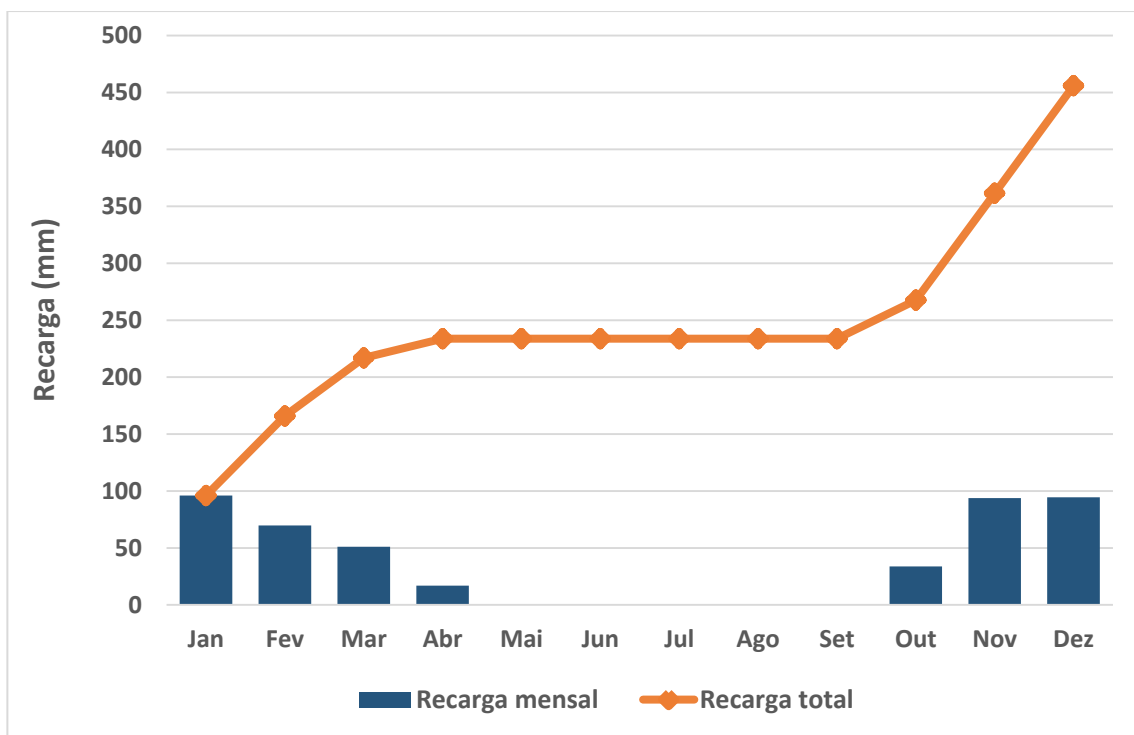


Figura 4.9_ Variação mensal de recarga aquífera na massa de água Água de Pau na ilha de São Miguel.

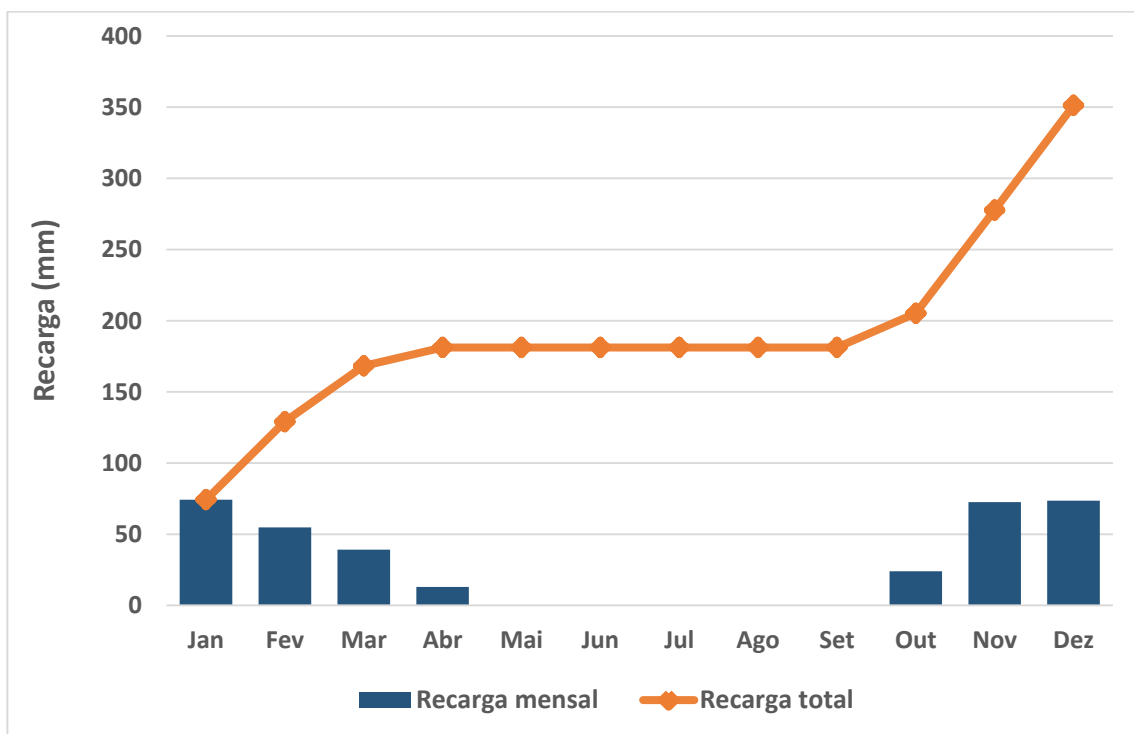


Figura 4.10_ Variação mensal de recarga aquífera na massa de água Sete Cidades na ilha de São Miguel.

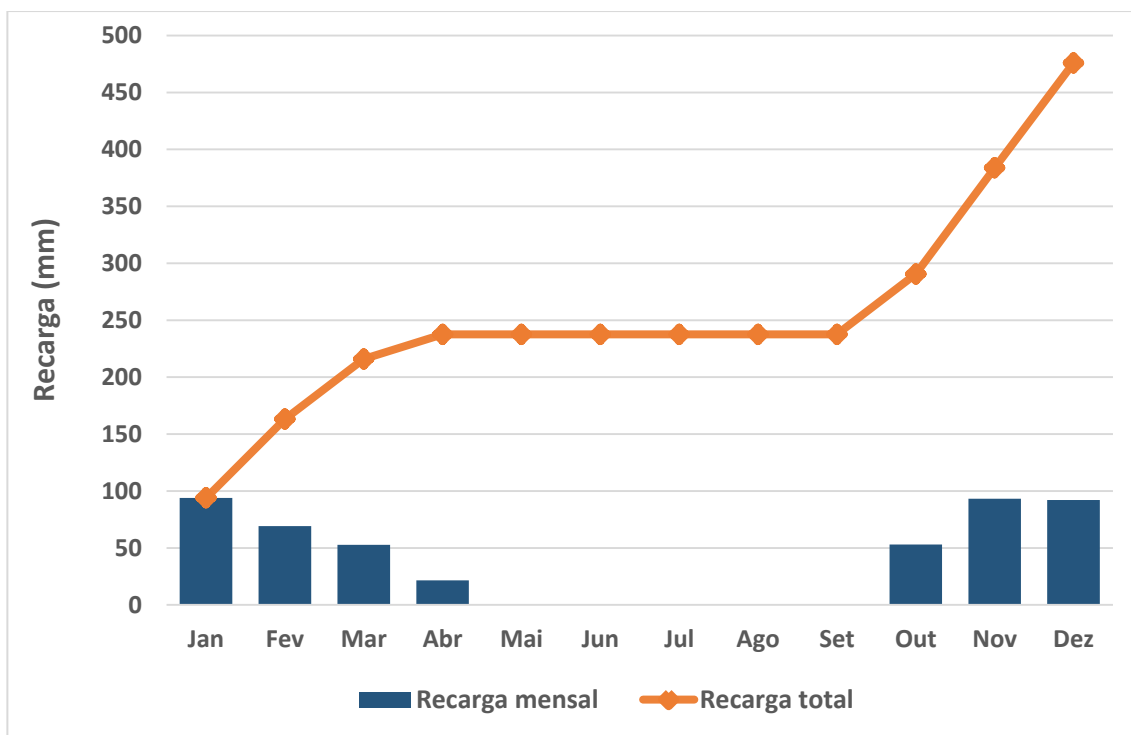


Figura 4.11_ Variação mensal de recarga aquífera na massa de água Nordeste - Faial da Terra na ilha de São Miguel.

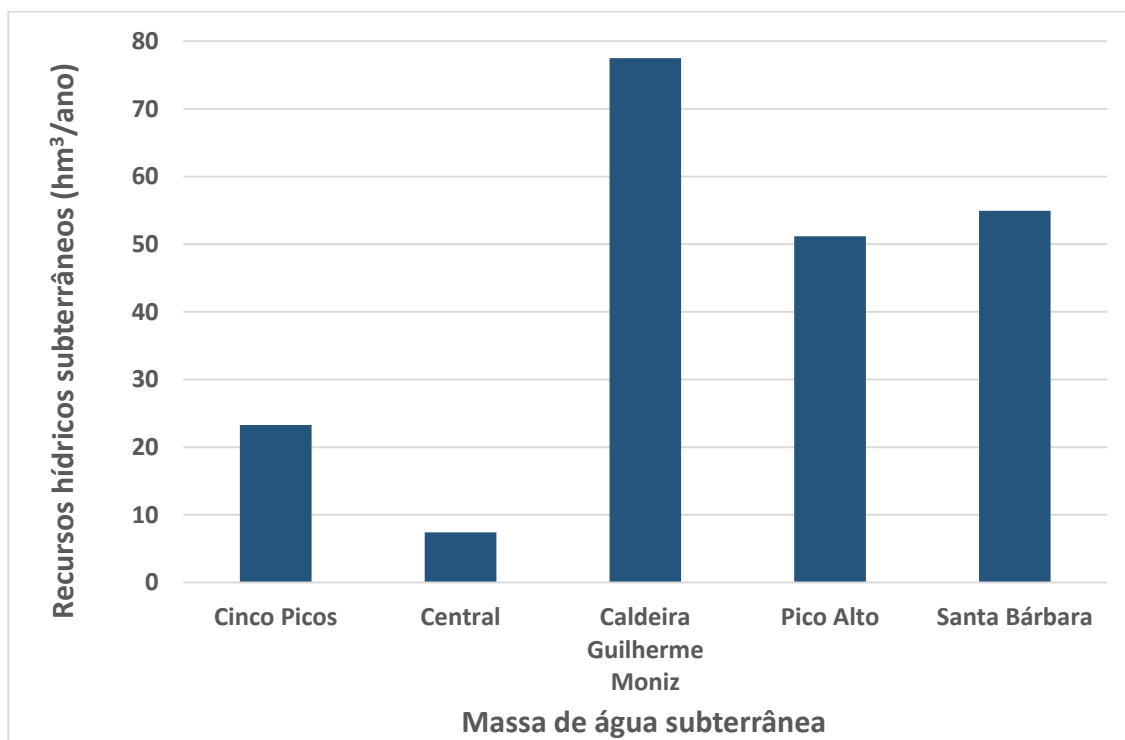


Figura 4.12_ Histograma relativo aos recursos hídricos subterrâneos renováveis na ilha Terceira.

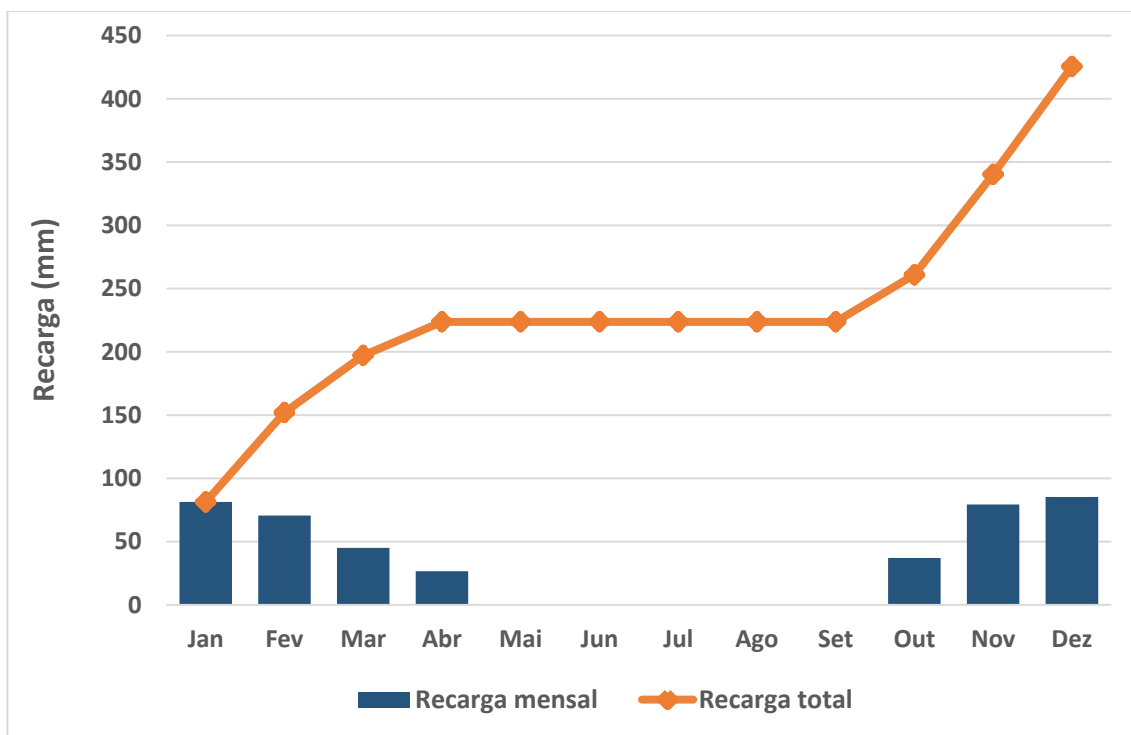


Figura 4.13_ Variação mensal de recarga aquífera na massa de água Cinco Picos na ilha Terceira.

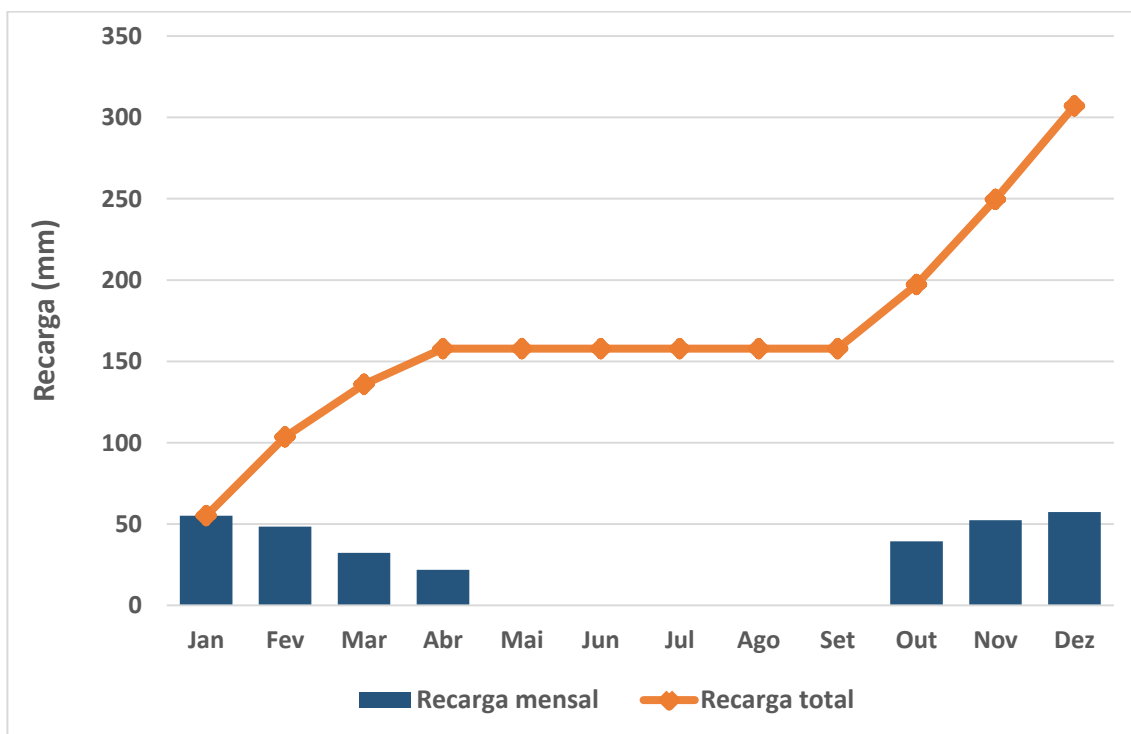


Figura 4.14_ Variação mensal de recarga aquífera na massa de água Central na ilha Terceira.

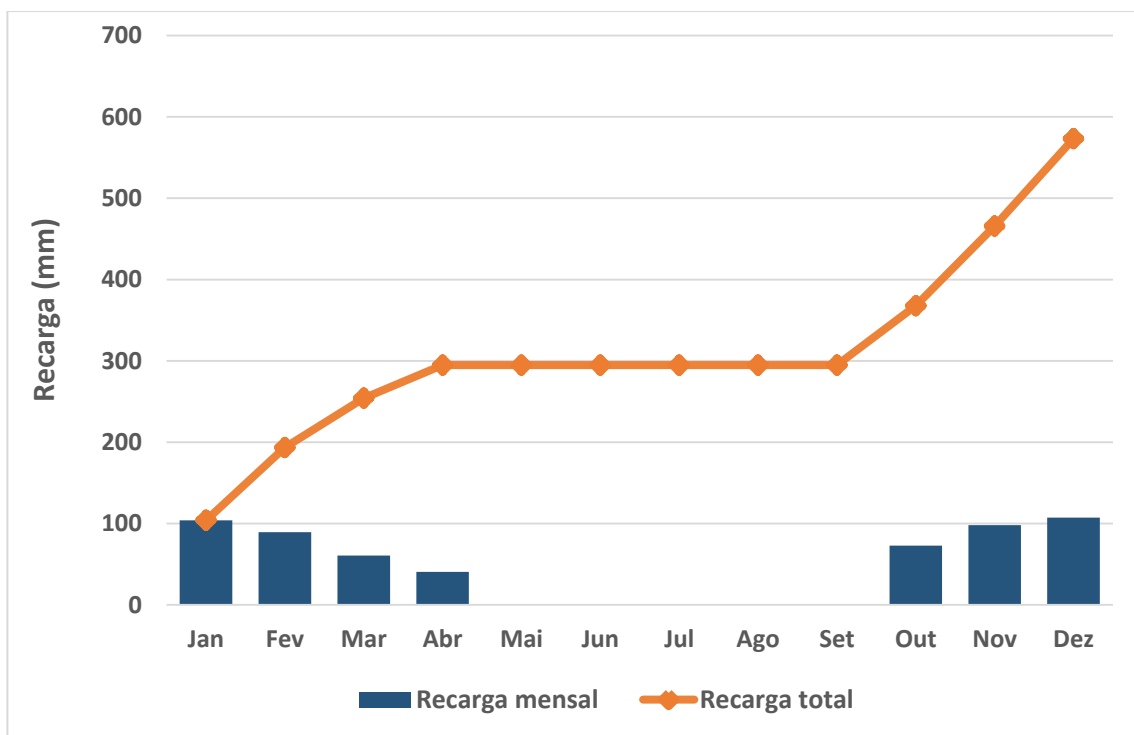


Figura 4.15_ Variação mensal de recarga aquífera na massa de água Caldeira Guilherme Moniz na ilha Terceira.

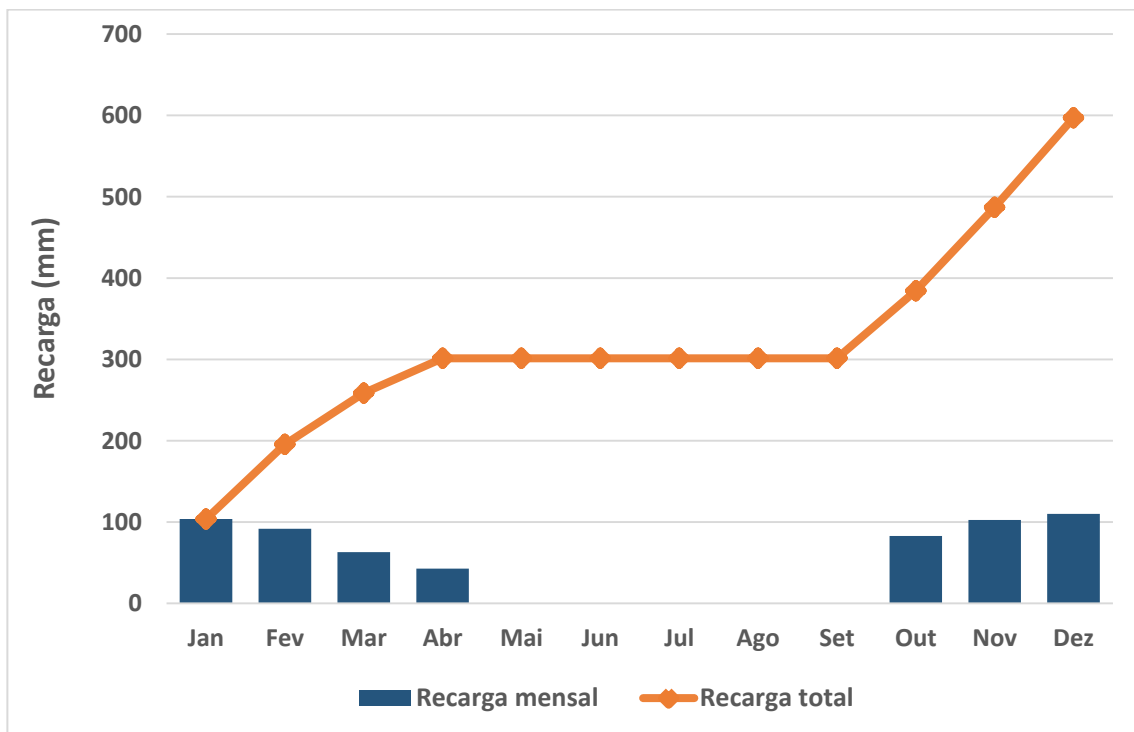


Figura 4.16_ Variação mensal de recarga aquífera na massa de água Pico Alto na ilha Terceira.

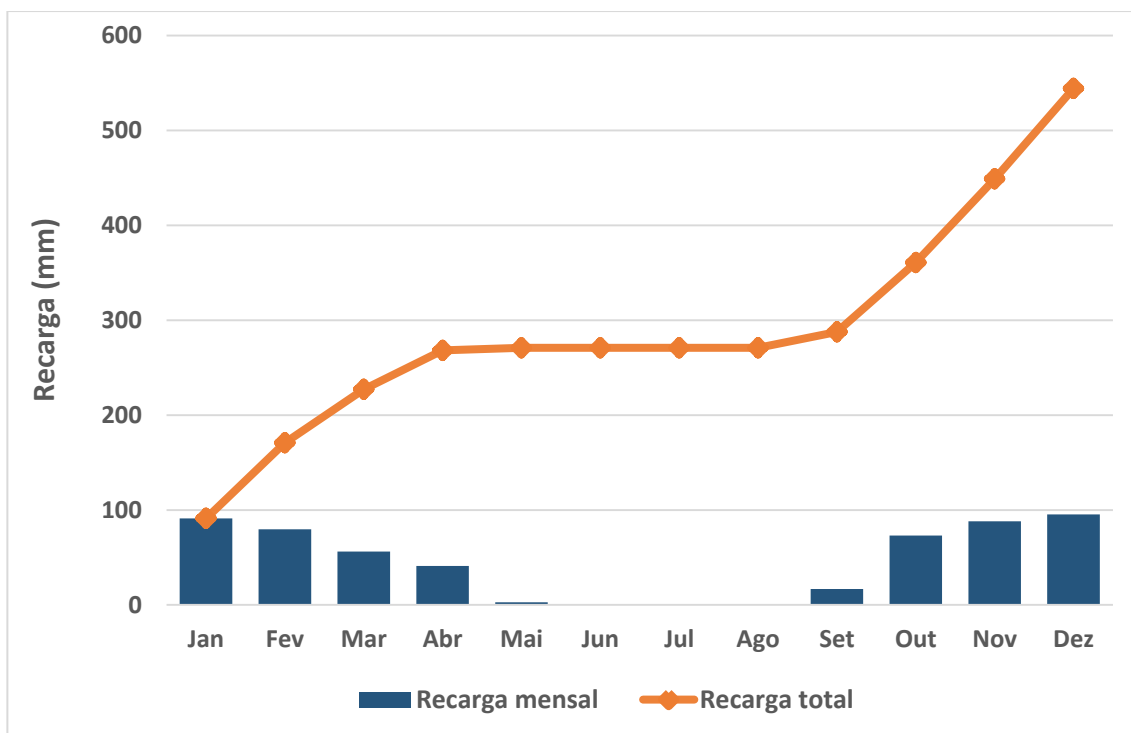


Figura 4.17_ Variação mensal de recarga aquífera na massa de água Santa Bárbara na ilha Terceira.

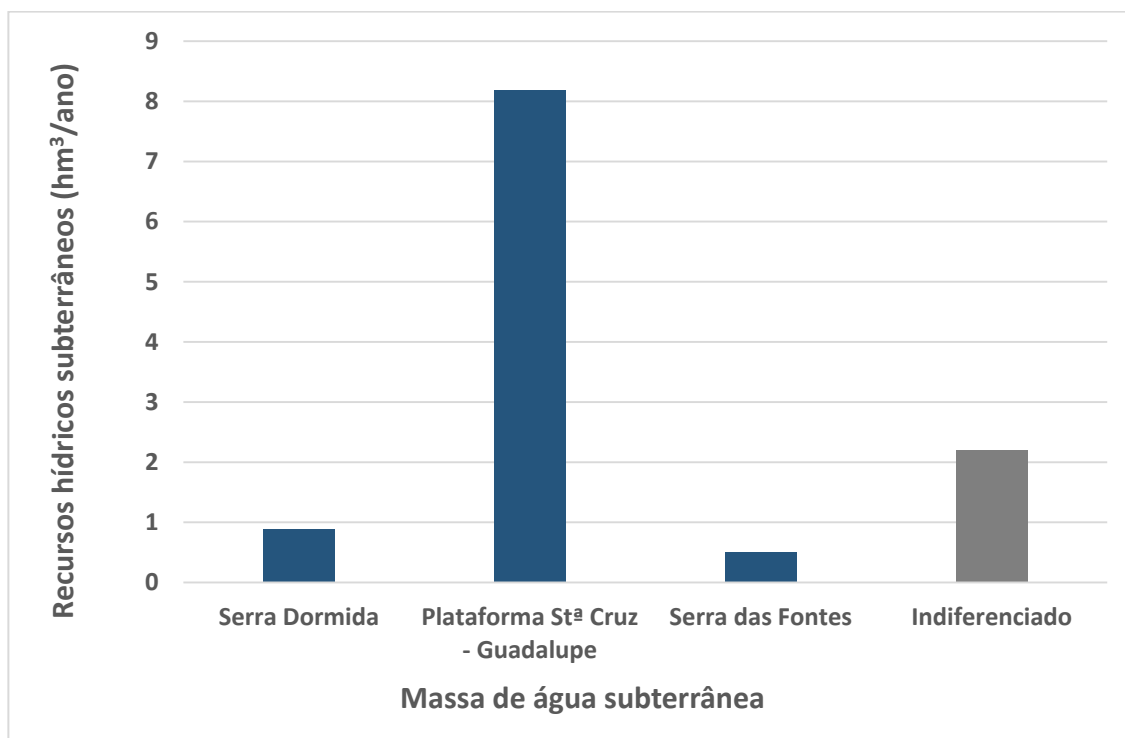


Figura 4.18_ Histograma relativo aos recursos hídricos subterrâneos renováveis na ilha Graciosa.

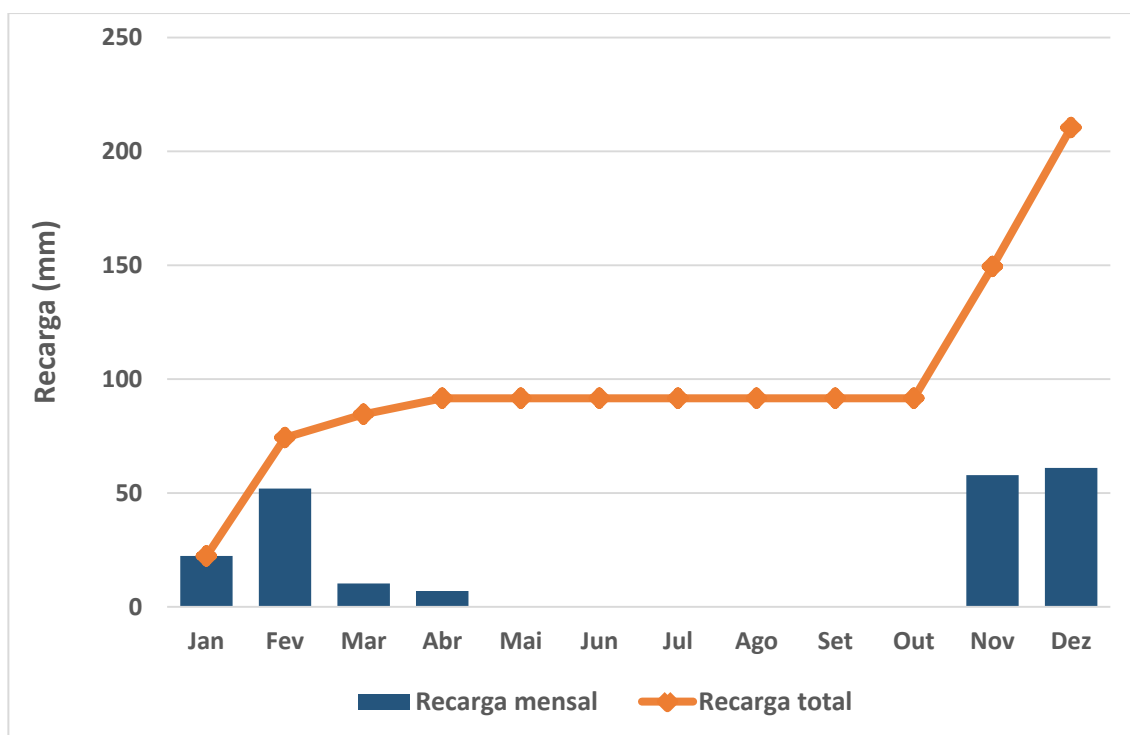


Figura 4.19_ Variação mensal de recarga aquífera na massa de água Serra Dormida na ilha Graciosa.

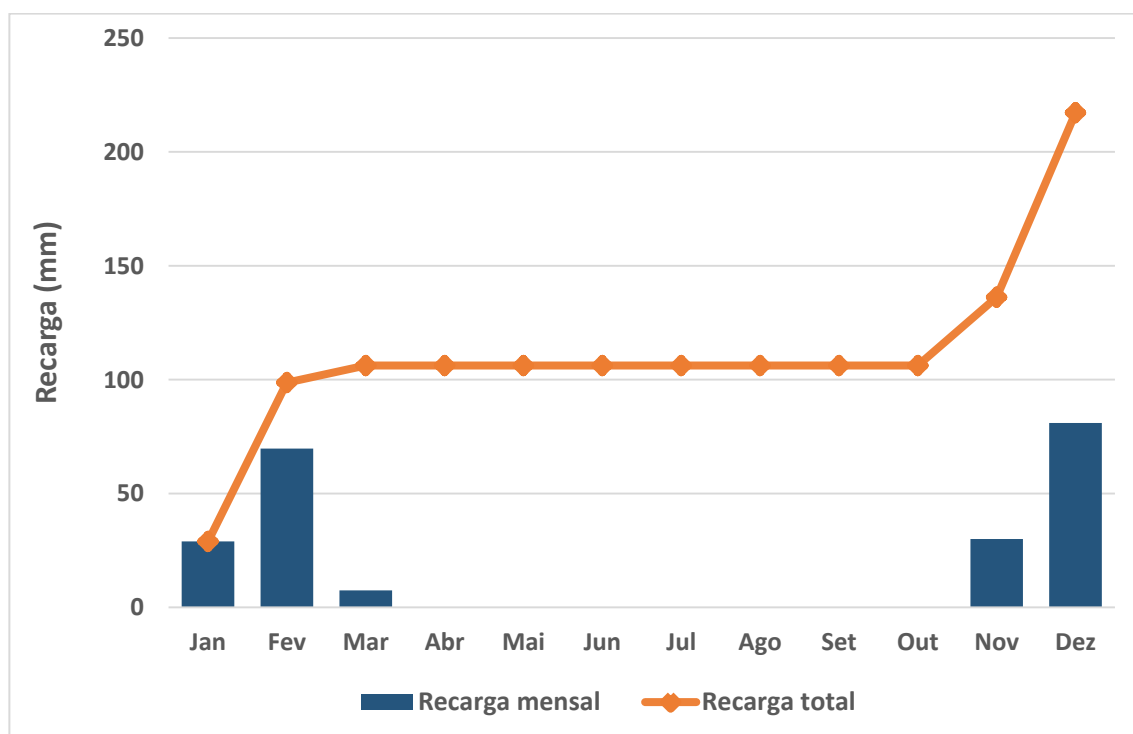


Figura 4.20_ Variação mensal de recarga aquífera na massa de água Plataforma Stª Cruz - Guadalupe na ilha Graciosa.

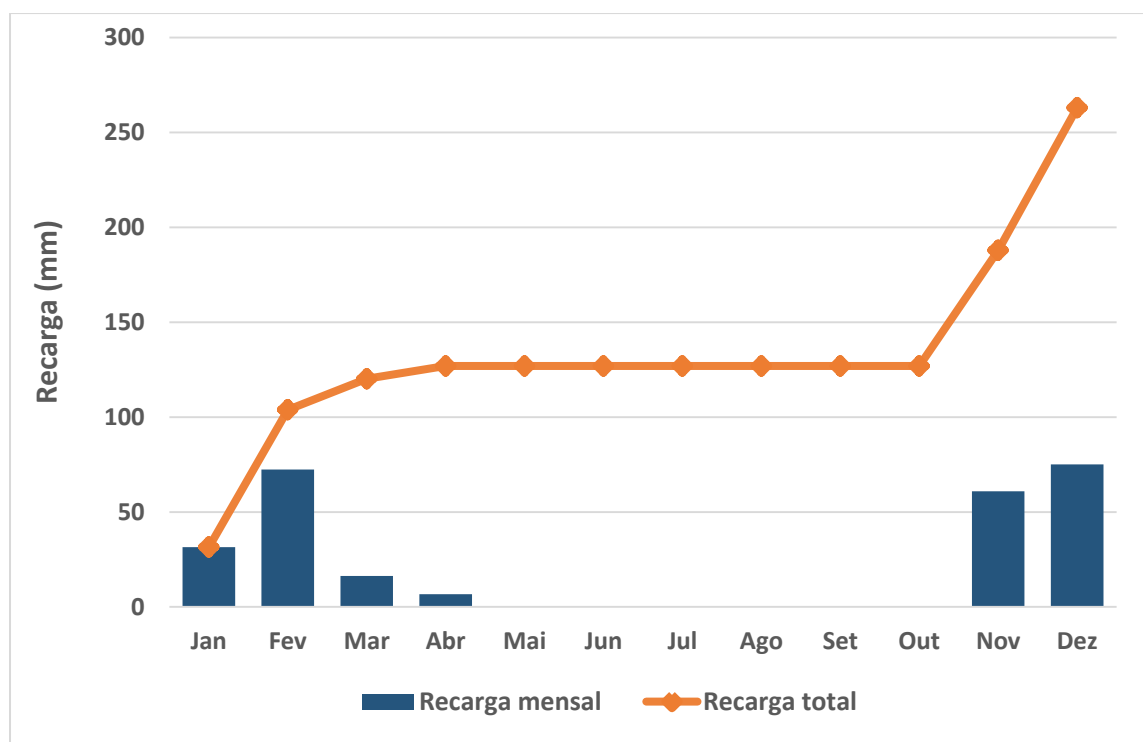


Figura 4.21_ Variação mensal de recarga aquífera na massa de água Serra das Fontes na ilha Graciosa.

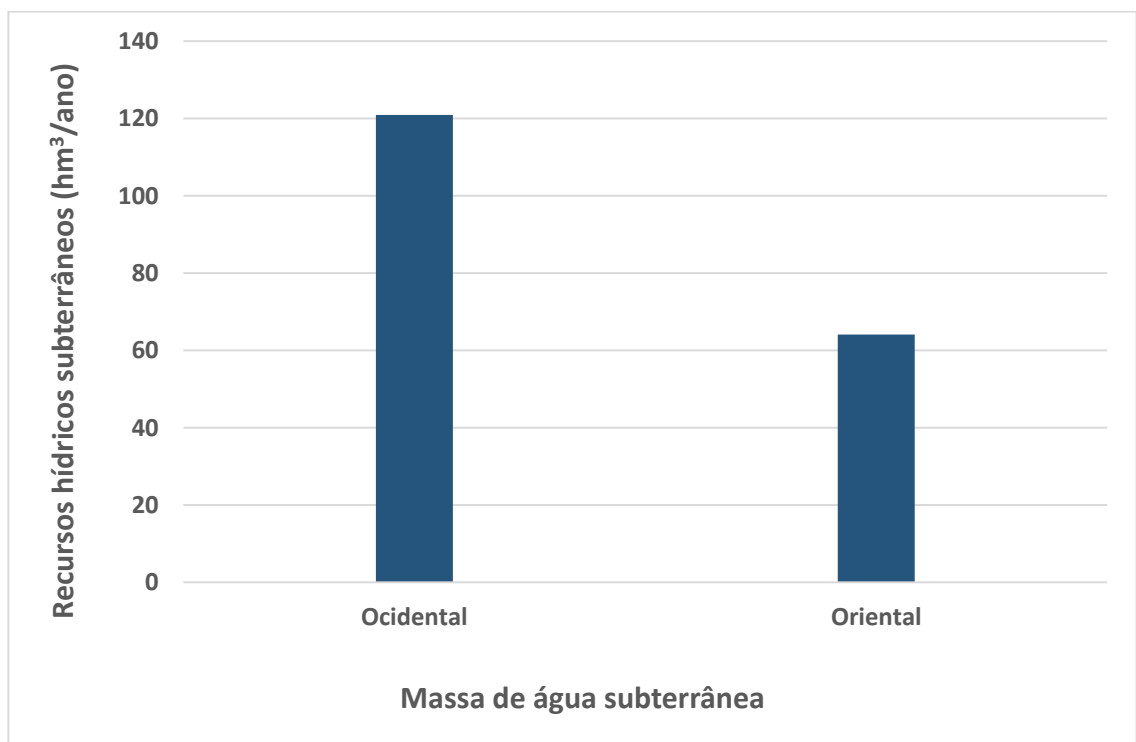


Figura 4.22_ Histograma relativo aos recursos hídricos subterrâneos renováveis na ilha de São Jorge.

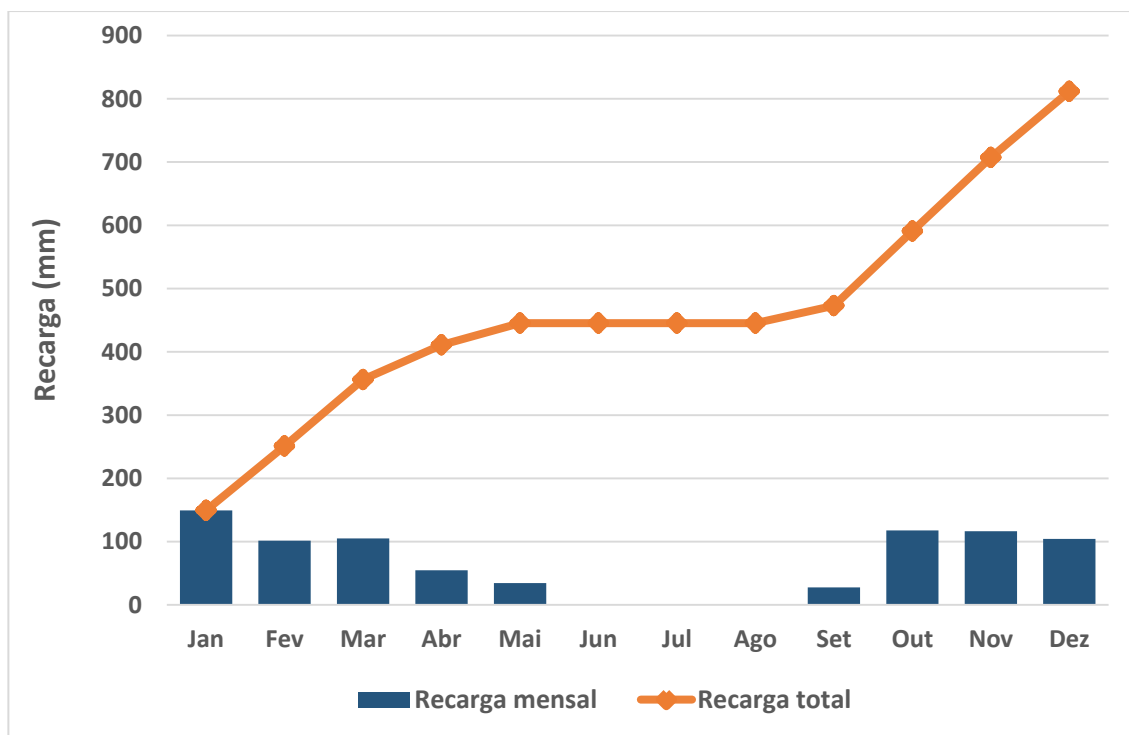


Figura 4.23_ Variação mensal de recarga aquífera na massa de água Ocidental na ilha de São Jorge.

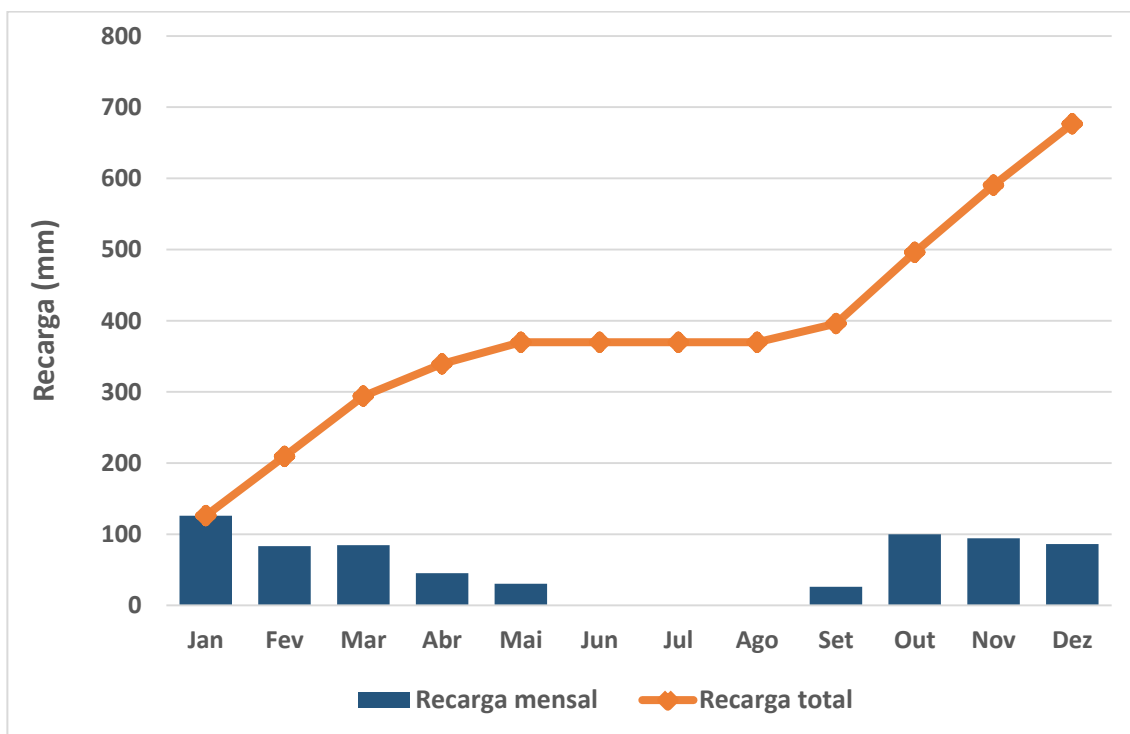


Figura 4.24_ Variação mensal de recarga aquífera na massa de água Oriental na ilha de São Jorge.

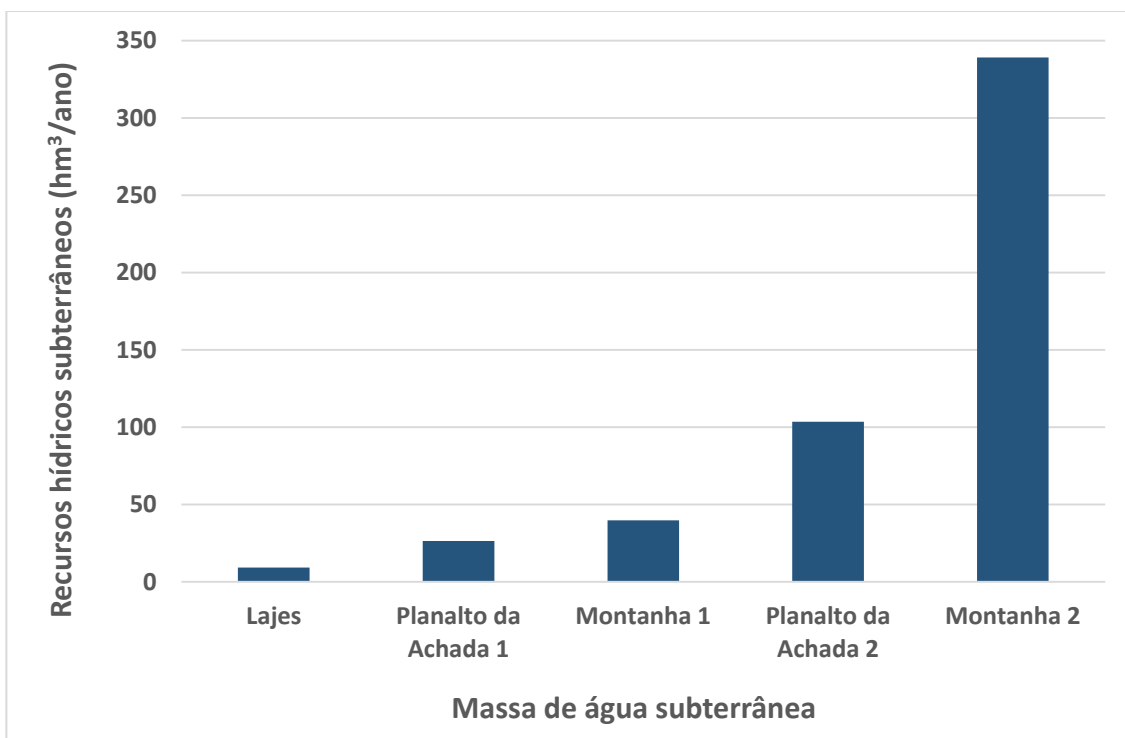


Figura 4.25_ Histograma relativo aos recursos hídricos subterrâneos renováveis na ilha do Pico.

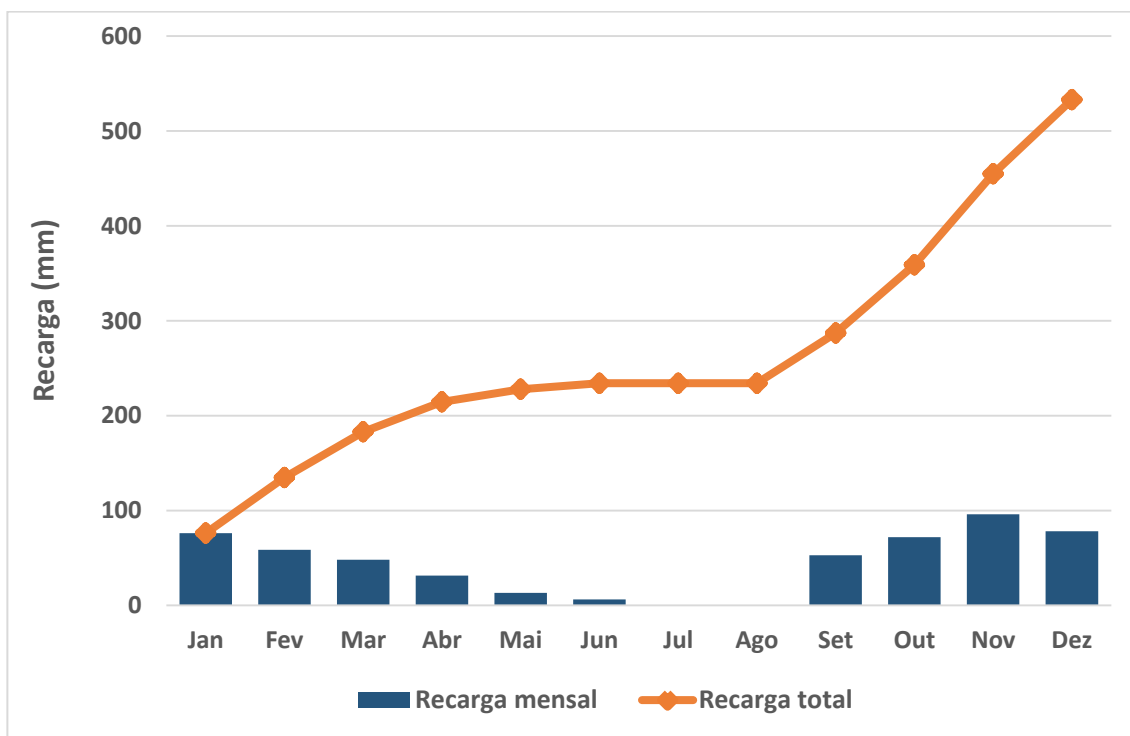


Figura 4.26_ Variação mensal de recarga aquífera na massa de água Lajes na ilha do Pico.

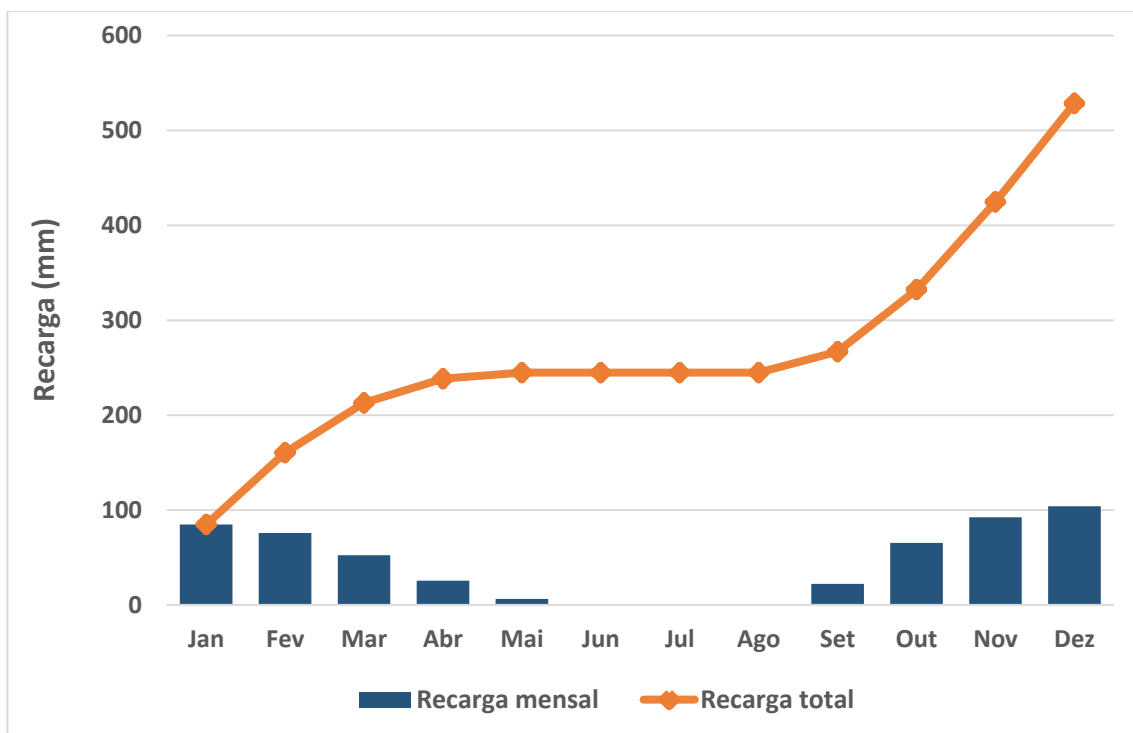


Figura 4.27_ Variação mensal de recarga aquífera na massa de água Planalto da Achada 1 na ilha do Pico.

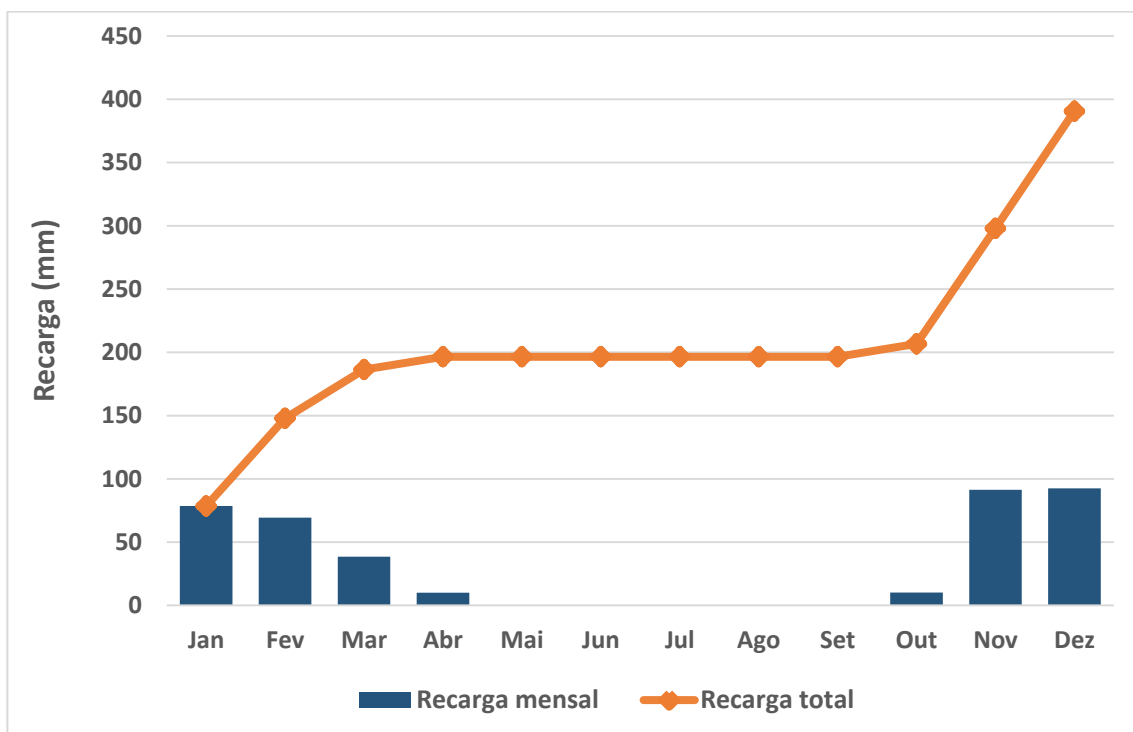


Figura 4.28_ Variação mensal de recarga aquífera na massa de água Montanha 1 na ilha do Pico.

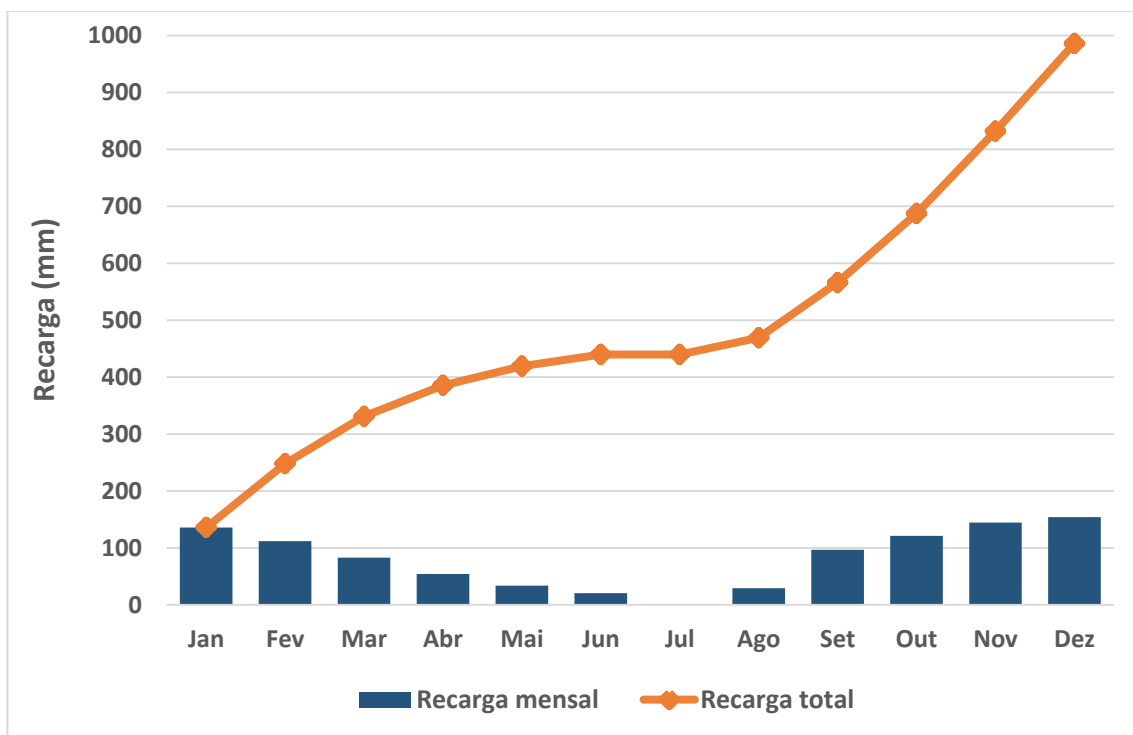


Figura 4.29_ Variação mensal de recarga aquífera na massa de água Planalto da Achada 2 na ilha do Pico.

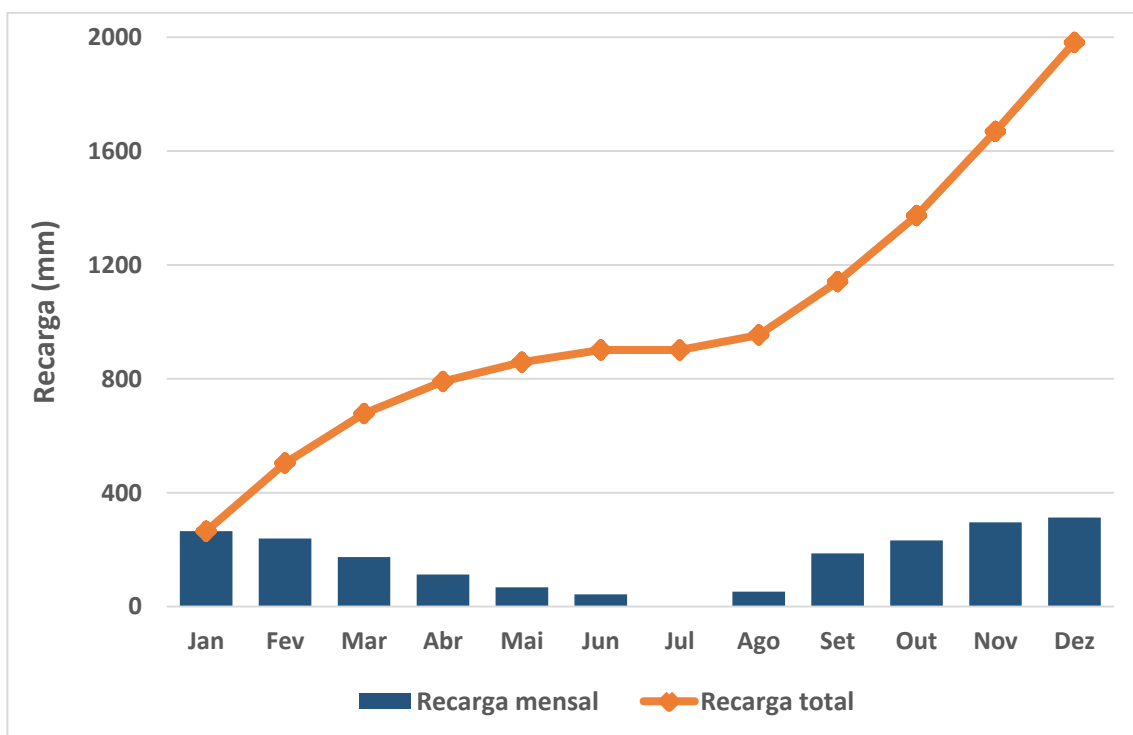


Figura 4.30_ Variação mensal de recarga aquífera na massa de água Montanha 2 na ilha do Pico.

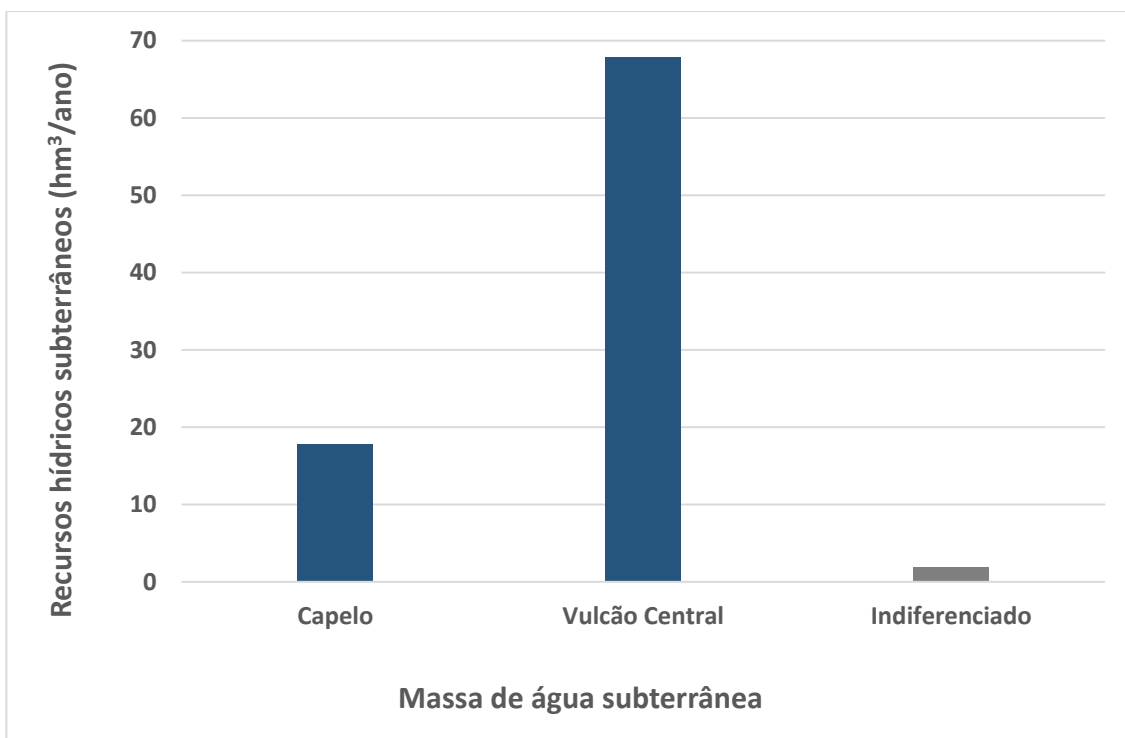


Figura 4.31_ Histograma relativo aos recursos hídricos subterrâneos renováveis na ilha do Faial.

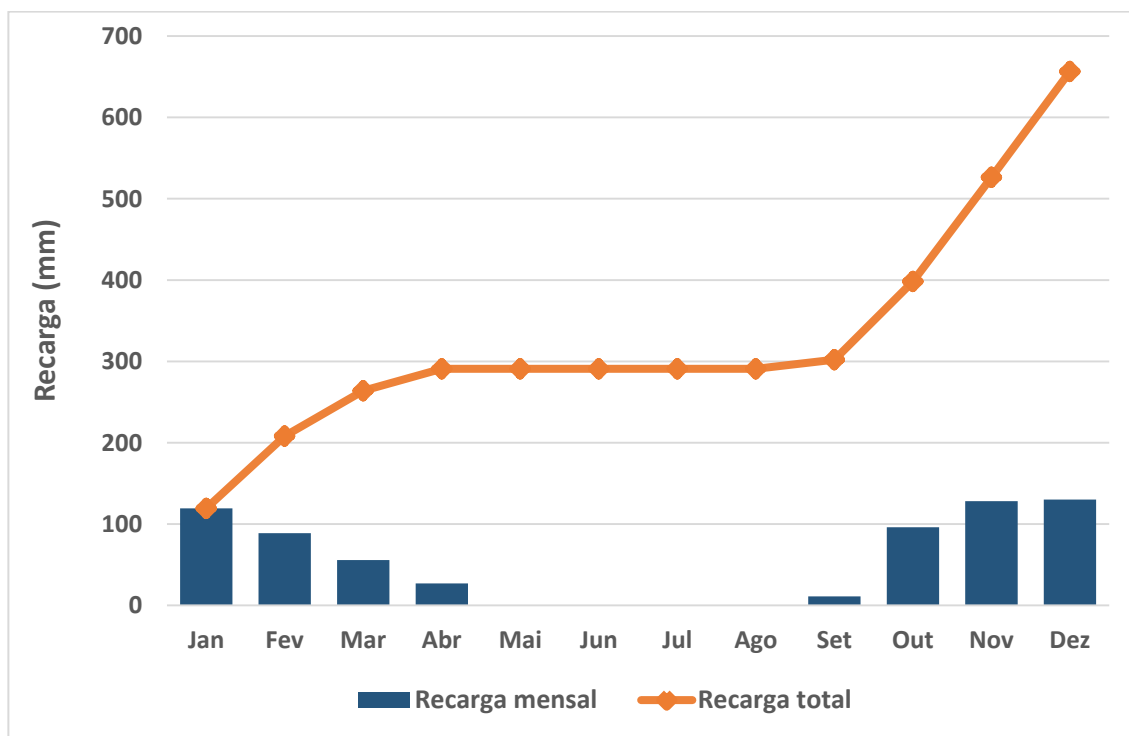


Figura 4.32_ Variação mensal de recarga aquífera na massa de água Capelo na ilha do Faial.

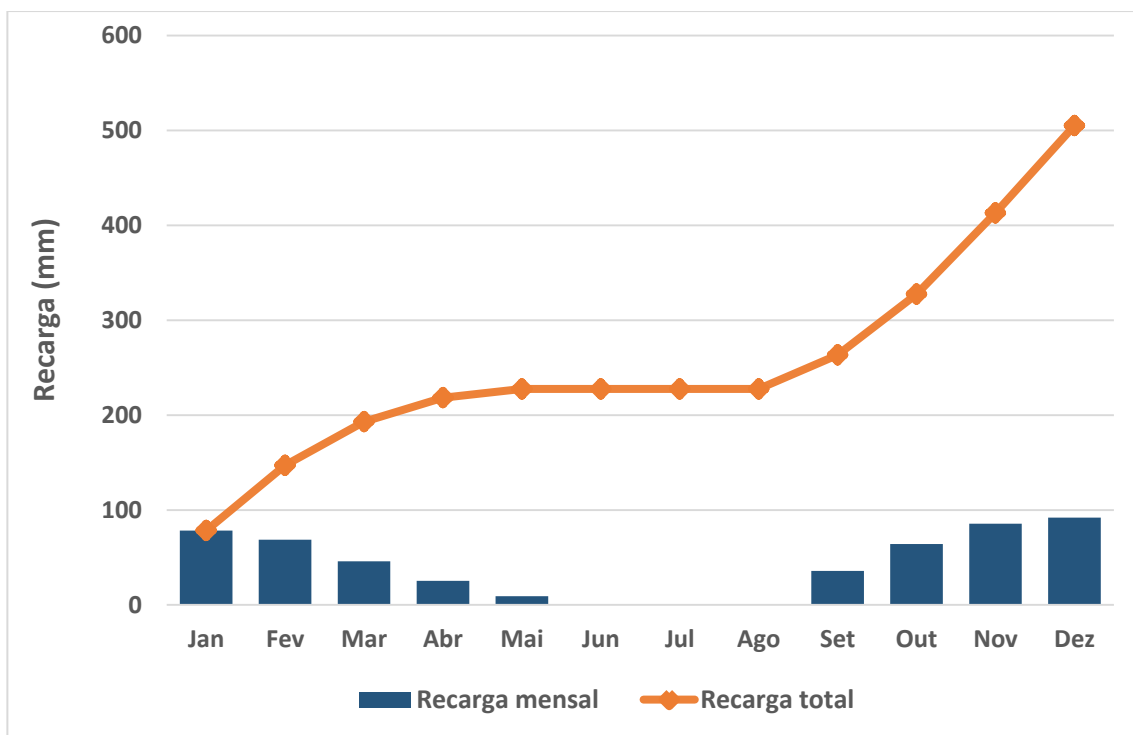


Figura 4.33_ Variação mensal de recarga aquífera na massa de água Vulcão Central na ilha do Faial.

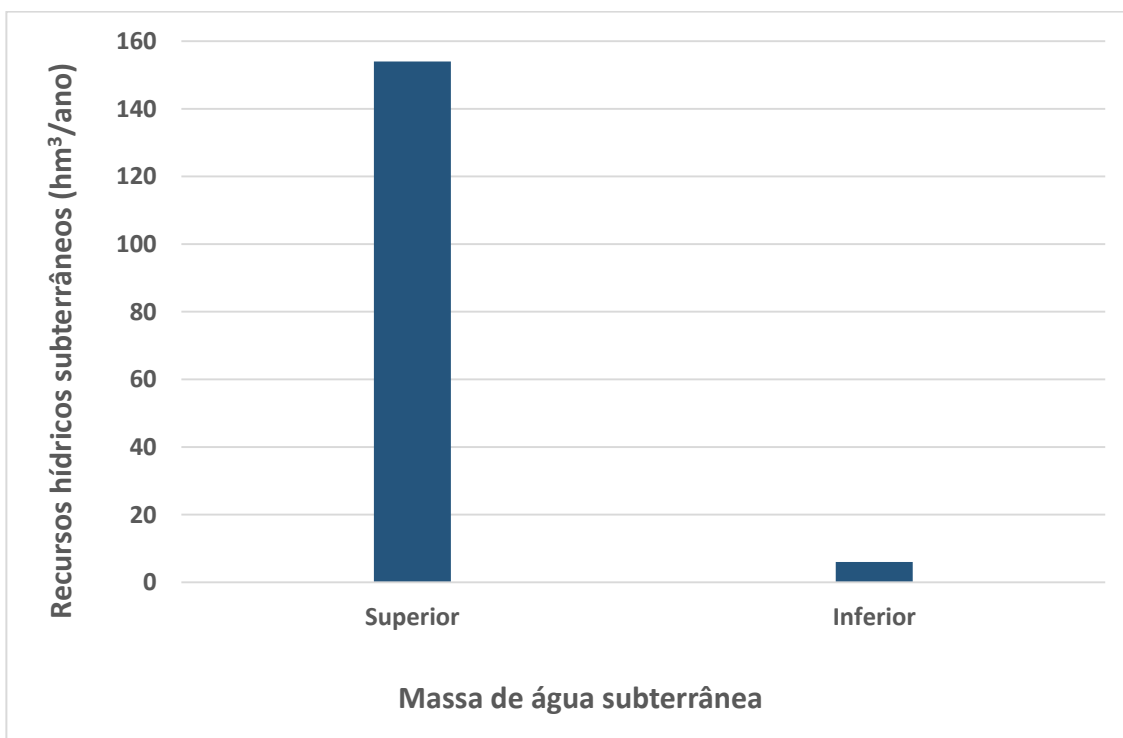


Figura 4.34_ Histograma relativo aos recursos hídricos subterrâneos renováveis na ilha das Flores.

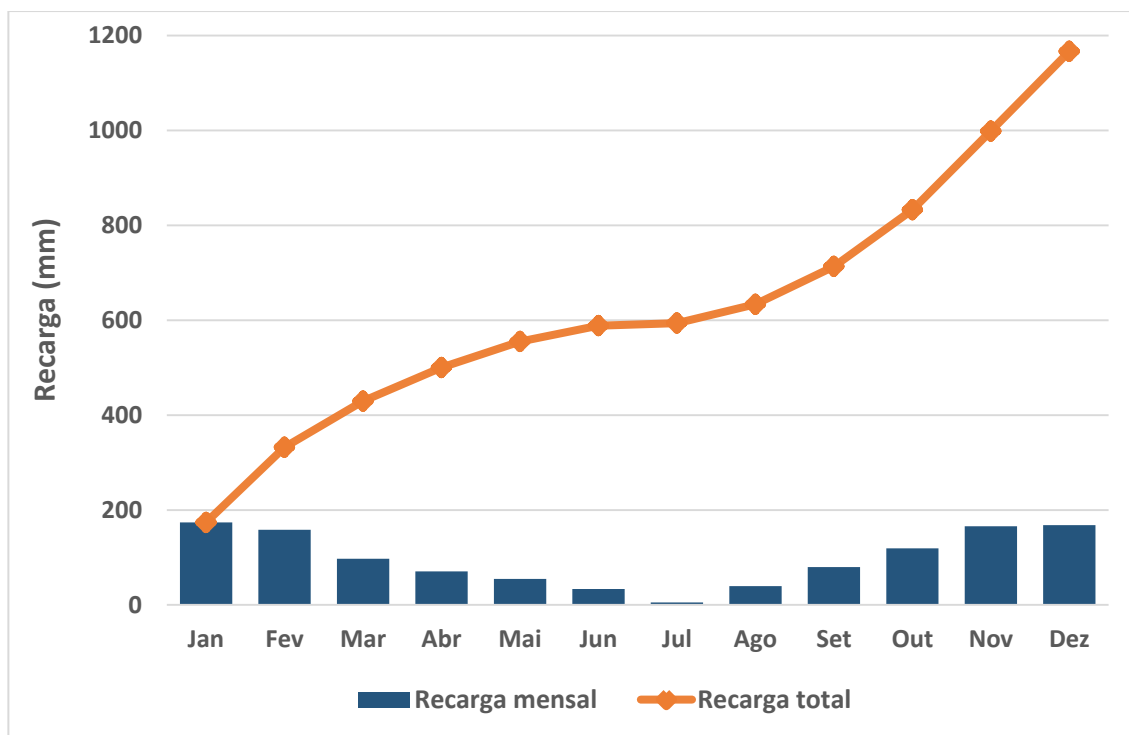


Figura 4.35_ Variação mensal de recarga aquífera na massa de água Superior na ilha das Flores.

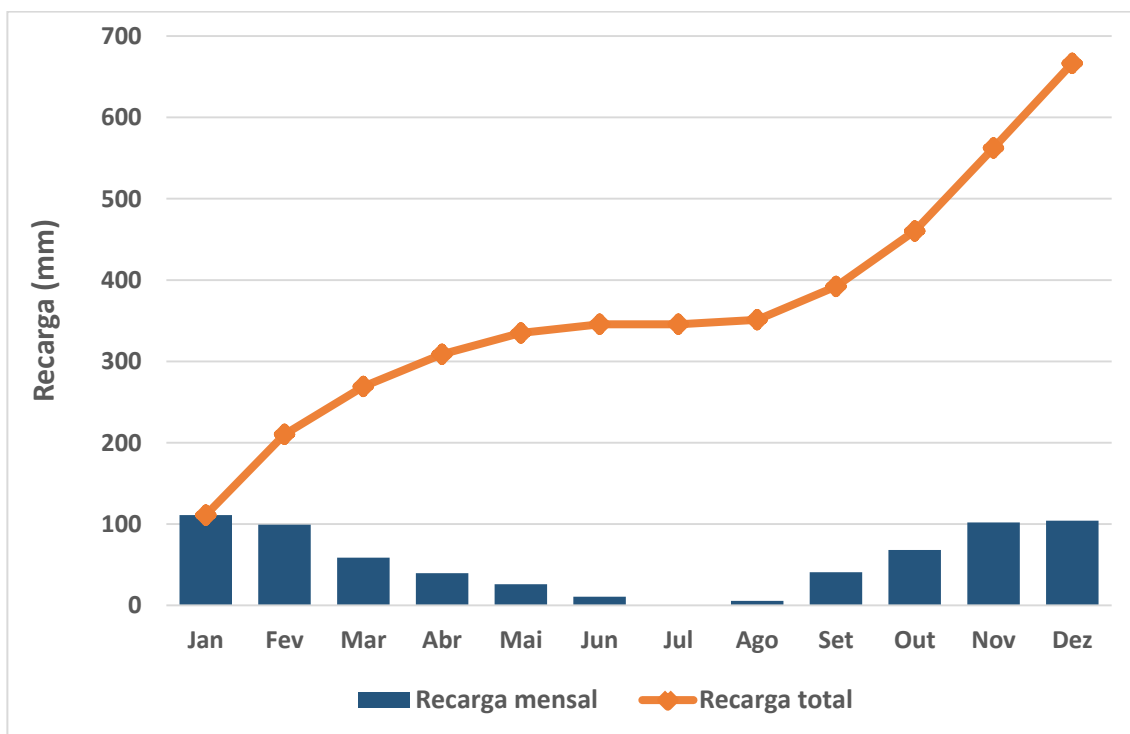


Figura 4.36_ Variação mensal de recarga aquífera na massa de água Inferior na ilha das Flores.

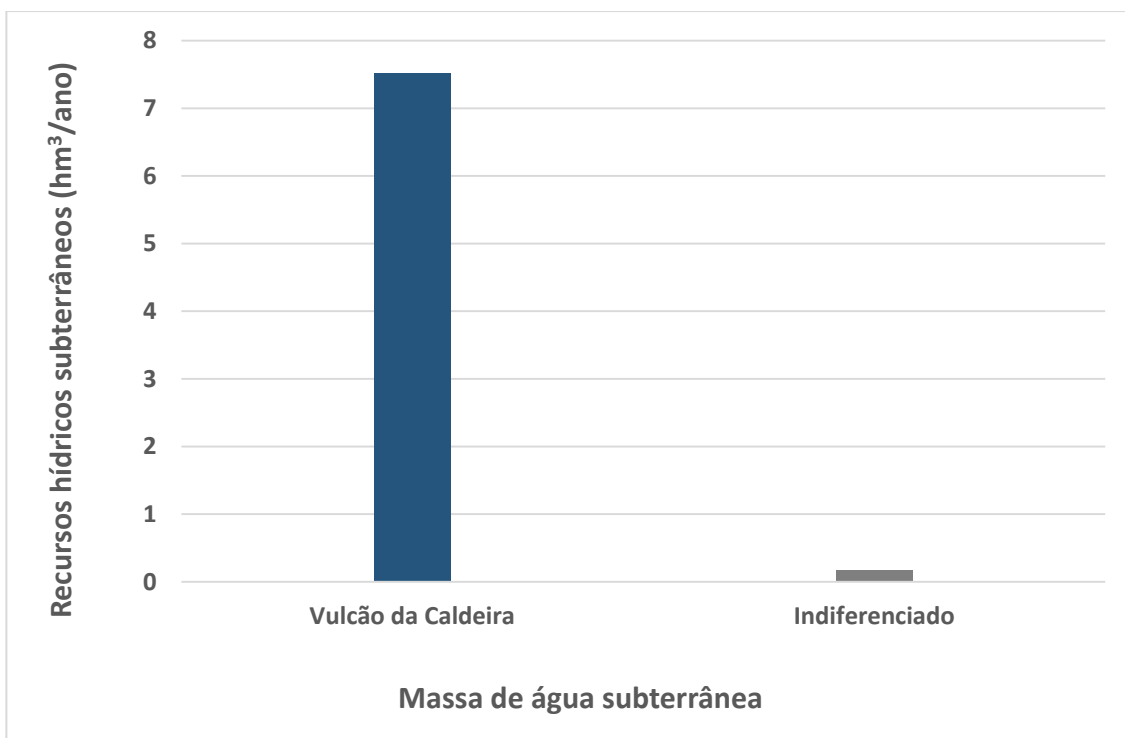


Figura 4.37_ Histograma relativo aos recursos hídricos subterrâneos renováveis na ilha do Corvo.

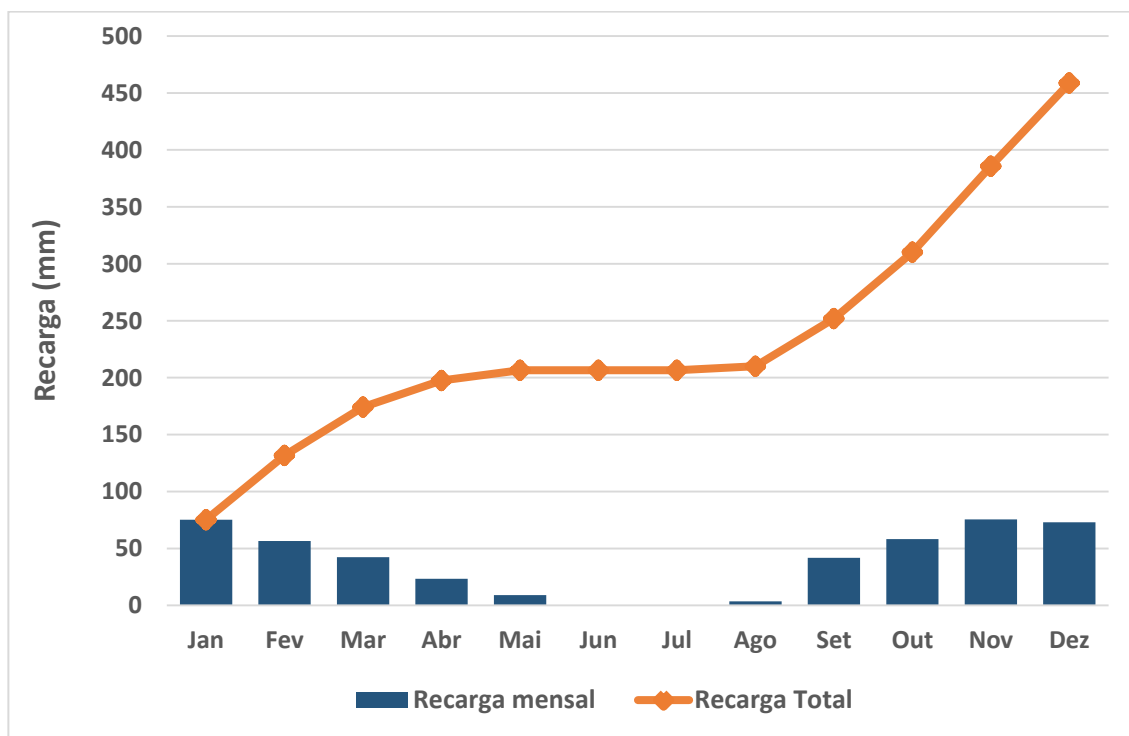


Figura 4.38_ Variação mensal de recarga aquífera na massa de água Vulcão da Caldeira na ilha do Corvo.

4.2. Aferição do balanço hídrico na componente subterrânea

Por forma a aferir o critério adotado no Plano de Gestão de Região Hidrográfica dos Açores (PGRH-RH9), nomeadamente considerar uma fração de 60% do volume global de recursos como uma aproximação quantitativa das disponibilidades subterrâneas exploráveis, *i.e.* das reservas aquíferas, e assim reduzir a margem de erro associada ao cálculo do balanço, apenas subsistindo a incógnita associada à descarga subterrânea junto à linha de costa ou submarina, procedeu-se à subtração do valor do escoamento de base do volume de água de recarga, já apresentada no Quadro 4.2.

No contexto supramencionado, considerou-se a sobreposição entre os cursos de água em que foi possível estimar o escoamento de base (Quadro 3.1), neste caso tomando como referência para cada uma o registo hidrométrico localizado mais a jusante, e a delimitação das massas de água subterrânea (Figura 4.39). Na medida que em particular no caso da ribeira da Povoação a área da bacia está dividida pelas massas de água subterrânea Furnas – Povoação e Nordeste – Faial da Terra considerou-se atribuir 50% do valor de escoamento de base a cada uma destas massas, estimado a partir do somatório dos valores nas estações hidrométricas dos Bispos e do Purgar. No caso específico da massa de água Furnas – Povoação atribuiu-se todo o escoamento de base observado na bacia hidrográfica da ribeira Quente considerando que apenas uma fração muito pequena da área da bacia se sobrepõe à massa Achada. Em virtude de apenas a parte terminal da bacia hidrográfica da ribeira de São Francisco, na ilha de Santa Maria, se sobrepor à massa de água anjos – Vila do Porto, atribuiu-se todo o valor de escoamento de base à massa Facho – Pico Alto. Nos restantes casos considerou-se para cada massa de água o valor resultante do escoamento de base em cada bacia sobreposta, adicionando os mesmos se mais que uma bacia aí ocorre, como é o caso da massa Água de Pau (ilha de São Miguel).

Os resultados apurados, patentes no Quadro 4.3, mostram que o volume de água subterrânea considerado como não explorável (40% da recarga anual) apenas é inferior ao escoamento de base no caso das massas de água subterrânea Água de Pau e Furnas – Povoação, ambas na ilha de São Miguel. Desta forma, sugere-se que o critério de 40% previamente adotado seja revisto em baixa, não obstante um intervalo de observações hidrométricas mais alargado, por forma a possibilitar a estimativa mais robusta do escoamento de base, fosse desejável.

No Quadro 4.4 apresenta-se a estimativa final dos recursos (*i.e.* disponibilidades totais) e reservas aquíferas para as várias massas de água subterrânea (resultados igualmente representados nas Figuras 4.40 a 4.48). A estimativa destas últimas resultou de subtrair às disponibilidades totais o valor acumulado da descarga total e do escoamento de base, no caso deste último ter sido quantificado. Na maioria dos casos verifica-se que o critério de 40% das disponibilidades totais considerado no PGRH-RH9 para calcular as disponibilidades não exploráveis resulta num volume de água inferior às reservas estimadas, ou seja deve ser mantido como referência para efeitos de uma abordagem assente na precaução. Realça-se, ainda, que a excedência é suficientemente elevada para compensar quaisquer incertezas nas estimativas.

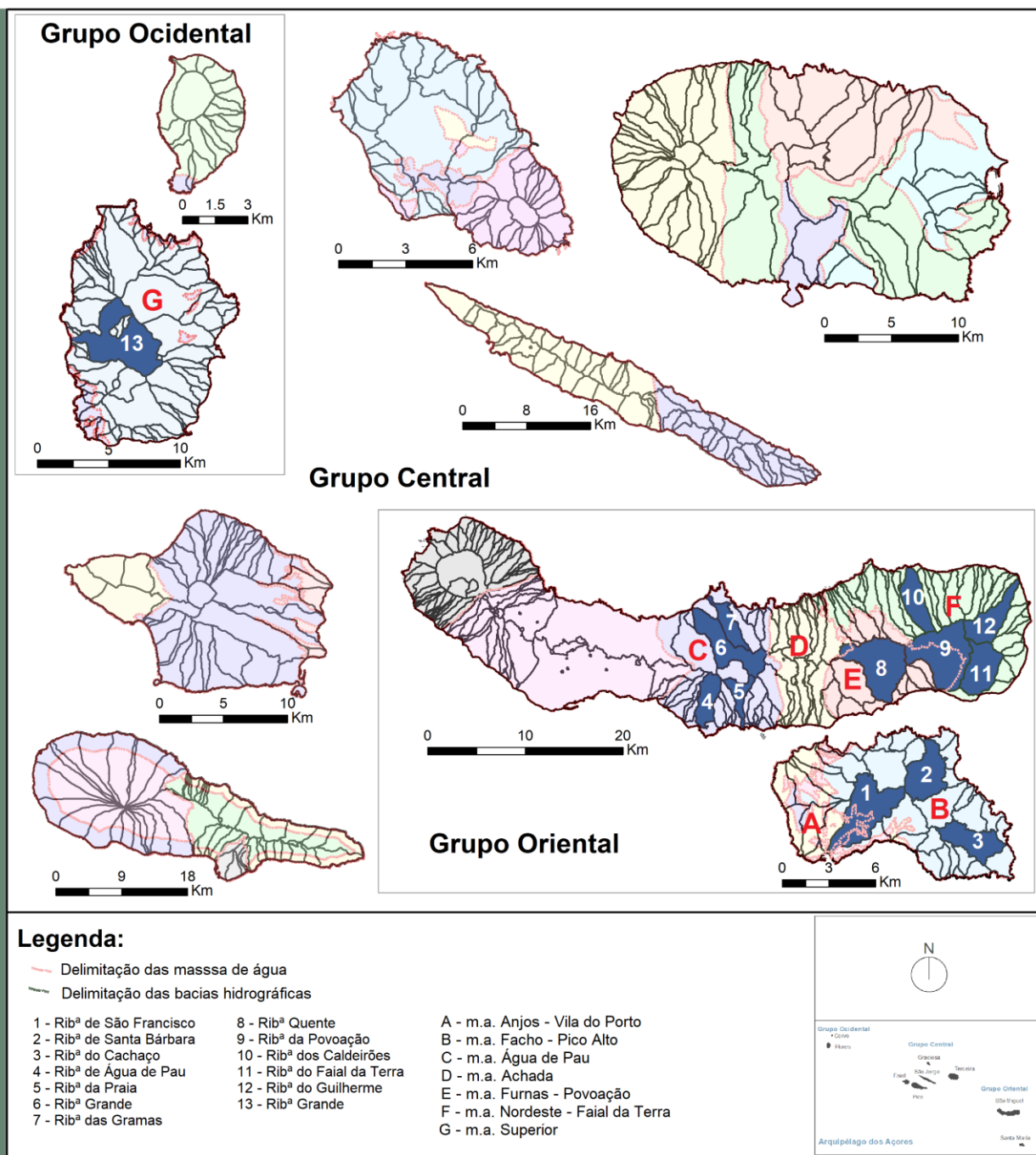


Figura 4.39_ Sobreposição das massas de água subterrânea e das bacias hidrográficas para as quais foi possível estimar o valor de escoamento de base.

Quadro 4.3_ Comparação do critério adotado no PGRH-RH9 para a estimativa das disponibilidades subterrâneas exploráveis com o valor de escoamento de base (a verde as massas de água em que o critério permite estimar um volume de água não explorável superior ao escoamento de base e a laranja o caso inverso) (n.d – não determinado; n.a – não aplicável).

Ilha	Massa de Água	Disponibilidades			Escoamento de base (hm ³ /ano)
		Totais (hm ³ /ano)	Exploráveis (hm ³ /ano)	Não Exploráveis (hm ³ /ano)	
Santa Maria	Facho – Pico Alto	15,3	9,2	6,1	2,8
	Anjos – Vila do Porto	1,2	0,7	0,5	n.d.
	Indiferenciado + s/informação	0,5	n.a.	0,5	n.d.
São Miguel	Ponta Delgada - Fenais da Luz	91,5	54,9	36,6	n.d.
	Furnas - Povoação	30,0	18,0	12,0	27,2
	Achada	31,2	18,7	12,5	n.d.
	Água de Pau	60,9	36,6	24,3	27,0
	Sete Cidades	30,2	18,1	12,1	n.d.
	Nordeste - Faial da Terra	78,9	47,3	31,6	24,8
Terceira	Cinco Picos	23,3	14,0	9,3	n.d.
	Central	7,4	4,4	3,0	n.d.
	Caldeira Guilherme Moniz	77,5	46,5	31,0	n.d.
	Pico Alto	51,2	30,7	20,5	n.d.
	Santa Barbara	54,9	33,0	21,9	n.d.
Graciosa	Serra Dormida	0,9	0,5	0,4	n.d.
	Plataforma Stª Cruz - Guadalupe	8,2	4,9	3,3	n.d.
	Serra das Fontes	0,5	0,3	0,2	n.d.
	Indiferenciado	2,2	n.a.	2,2	n.d.
São Jorge	Ocidental	120,9	72,5	48,4	n.d.
	Oriental	64,1	38,5	25,6	n.d.
Pico	Lajes	9,2	5,5	3,7	n.d.
	Planalto da Achada 1	26,4	15,8	10,6	n.d.
	Montanha 1	39,7	23,8	15,9	n.d.
	Planalto da Achada 2	103,6	62,1	41,5	n.d.
	Montanha 2	339,2	203,5	135,7	n.d.
Faial	Capelo	17,8	10,7	7,1	n.d.
	Vulcão Central	67,8	40,7	27,1	n.d.
	Indiferenciado	1,9	n.a.	1,9	n.d.
Flores	Superior	154,0	92,4	61,6	3,6
	Inferior	6,0	3,6	2,4	n.d.
Corvo	Vulcão da Caldeira	7,5	4,5	3,0	n.d.
	Indiferenciado	0,2	n.a.	0,2	n.d.

Contudo, no caso das massas de água subterrâneas Anjos – Vila do Porto, na ilha de Santa Maria, e Água de Pau e Furnas – Povoação, ambas na ilha de São Miguel, constata-se que as disponibilidades não exploráveis pelo critério dos 40% das disponibilidades totais excedem as reservas estimadas. Para estas massas, sugere-se que as disponibilidades não exploráveis devam ser iguais ao valor da soma da descarga e do escoamento de base calculadas em cada caso, o que implica que a razão entre as disponibilidades não exploráveis e totais seja inferior a 40%. Em particular, no caso das massas Anjos – Vila do Porto e Furnas – Povoação este valor é da ordem de 20%, enquanto no caso da massa Furnas – Povoação o valor é apenas da ordem de 2%.

Em qualquer caso, realça-se que relativamente às massas de água subterrânea Água de Pau e Furnas – Povoação as Lagoas do Fogo e das Furnas, respetivamente, poderão contribuir para a recarga subterrânea. Embora esta componente não esteja quantificada, por falta de dados, esta hipótese foi admitida por estudos já realizados pelo que não deve ser de excluir, contribuindo assim para um efetivo aumento do volume de reservas aquíferas (Coutinho *et al.*, 1997; Carvalho, 2000).

Quadro 4.4 _ Disponibilidades totais, exploráveis e não exploráveis versus reservas aquíferas para as várias massas de água subterrânea (n.d – não determinado; n.a – não aplicável). A verde os valores que devem ser considerados para efeito das disponibilidades não exploráveis de acordo com o critério PGRH e a amarelo sempre que este valor é menor que o valor resultante da soma da descarga total e do escoamento de base (entre parêntesis). A laranja salientam-se os casos em que a razão entre as reservas e as disponibilidades totais é menor que 40% (massas Anjos – Vila do Porto, Furnas - Povoação e Água de Pau (explicação no texto).

Ilha	Massa de Água	Descarga total (hm ³ /ano)	Escoamento de base (hm ³ /ano)	Disponibilidades			Reservas Aquíferas (A) (hm ³ /ano)	
				Totais (B) (hm ³ /ano)	Exploráveis (hm ³ /ano)	Não Exploráveis (hm ³ /ano)	Totais (hm ³ /ano)	A/B (%)
Santa Maria	Facho – Pico Alto	1,04	2,8	15,3	9,2	6,1	11,5	75
	Anjos – Vila do Porto	0,99	n.d.	1,2	0,7	0,5 (0,99)	0,2	18
	Indiferenciado + s/informação	n.a.	n.d.	0,5	n.a.	0,5	n.a.	n.a.
São Miguel	Ponta Delgada - Fenais da Luz	4,18	n.d.	91,5	54,9	36,6	87,3	95
	Furnas - Povoação	2,12	27,2	30,0	18,0	12,0 (29,3)	0,7	2
	Achada	1,74	n.d.	31,2	18,7	12,5	29,5	94
	Água de Pau	21,85	27,0	60,9	36,6	24,3 (48,9)	12,1	20
	Sete Cidades	3,73	n.d.	30,2	18,1	12,1	26,5	88
	Nordeste - Faial da Terra	2,27	24,8	78,9	47,3	31,6	51,8	66
Terceira	Cinco Picos	2,01	n.d.	23,3	14,0	9,3	21,3	91
	Central	2,87	n.d.	7,4	4,4	3,0	4,5	61
	Caldeira Guilherme Moniz	5,73	n.d.	77,5	46,5	31,0	71,8	93
	Pico Alto	2,60	n.d.	51,2	30,7	20,5	48,6	95

Ilha	Massa de Água	Descarga total (hm ³ /ano)	Escoamento de base (hm ³ /ano)	Disponibilidades			Reservas Aquíferas (A) (hm ³ /ano)	
				Totais (B) (hm ³ /ano)	Exploráveis (hm ³ /ano)	Não Exploráveis (hm ³ /ano)	Totais (hm ³ /ano)	A/B (%)
	Santa Barbara	0,24	n.d.	54,9	33,0	21,9	54,7	100
Graciosa	Serra Dormida	0,03	n.d.	0,9	0,5	0,4	0,9	97
	Plataforma Stª Cruz - Guadalupe	1,39	n.d.	8,2	4,9	3,3	6,8	83
	Serra das Fontes	0,04	n.d.	0,5	0,3	0,2	0,5	92
	Indiferenciado	n.a.	n.d.	2,2	n.a.	2,2	n.a.	n.a.
São Jorge	Ocidental	1,69	n.d.	120,9	72,5	48,4	119,2	99
	Oriental	0,56	n.d.	64,1	38,5	25,6	63,5	99
Pico	Lajes	0,00	n.d.	9,2	5,5	3,7	9,2	100
	Planalto da Achada 1	0,74	n.d.	26,4	15,8	10,6	25,7	97
	Montanha 1	0,95	n.d.	39,7	23,8	15,9	38,8	98
	Planalto da Achada 2	0,05	n.d.	103,6	62,1	41,5	103,6	100
	Montanha 2	0,00	n.d.	339,2	203,5	135,7	339,2	100
Faial	Capelo	0,002	n.d.	17,8	10,7	7,1	17,8	100
	Vulcão Central	4,08	n.d.	67,8	40,7	27,1	63,7	94
	Indiferenciado	n.a.	n.d.	1,9	n.a.	1,9	n.a.	n.a.
Flores	Superior	1,42	3,6	154,0	92,4	61,6	149,0	97
	Inferior	0,24	n.d.	6,0	3,6	2,4	5,8	96
Corvo	Vulcão da Caldeira	0,08	n.d.	7,5	4,5	3,0	7,4	99
	Indiferenciado	n.a.	n.d.	0,2	n.a.	0,2	n.a.	n.a.

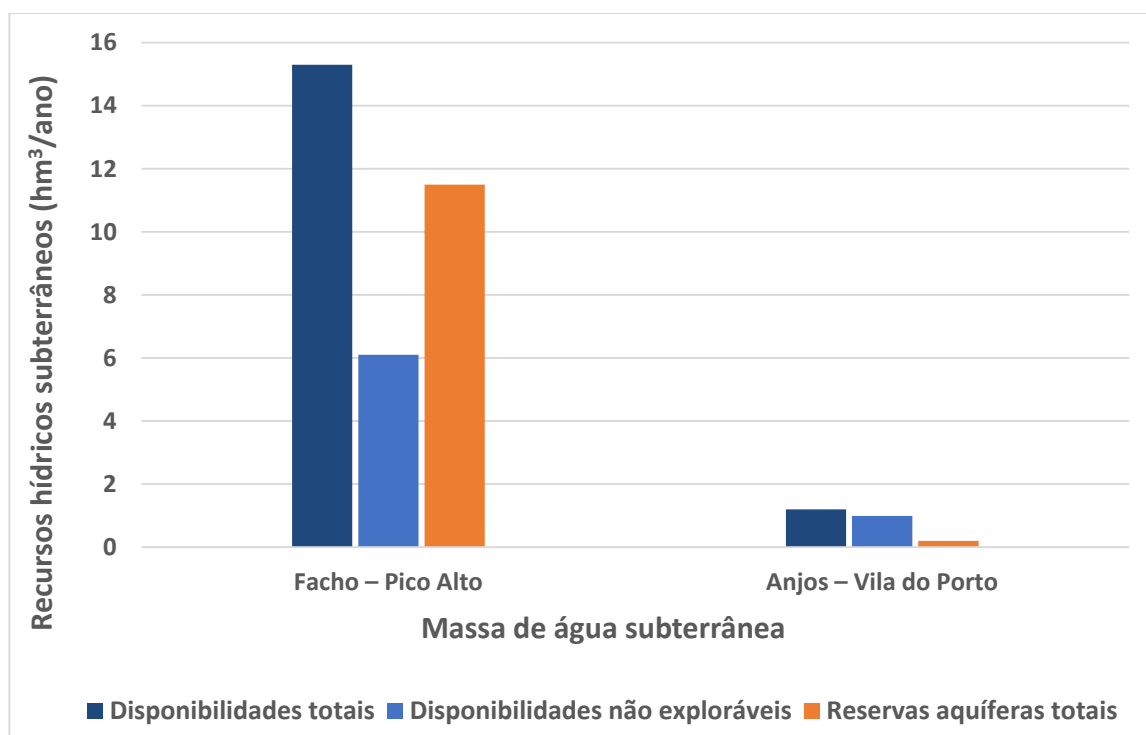


Figura 4.40_ Histograma relativo aos recursos hídricos subterrâneos renováveis (disponibilidades totais), disponibilidades não exploráveis e reservas aquíferas por massa de água na ilha de Santa Maria.

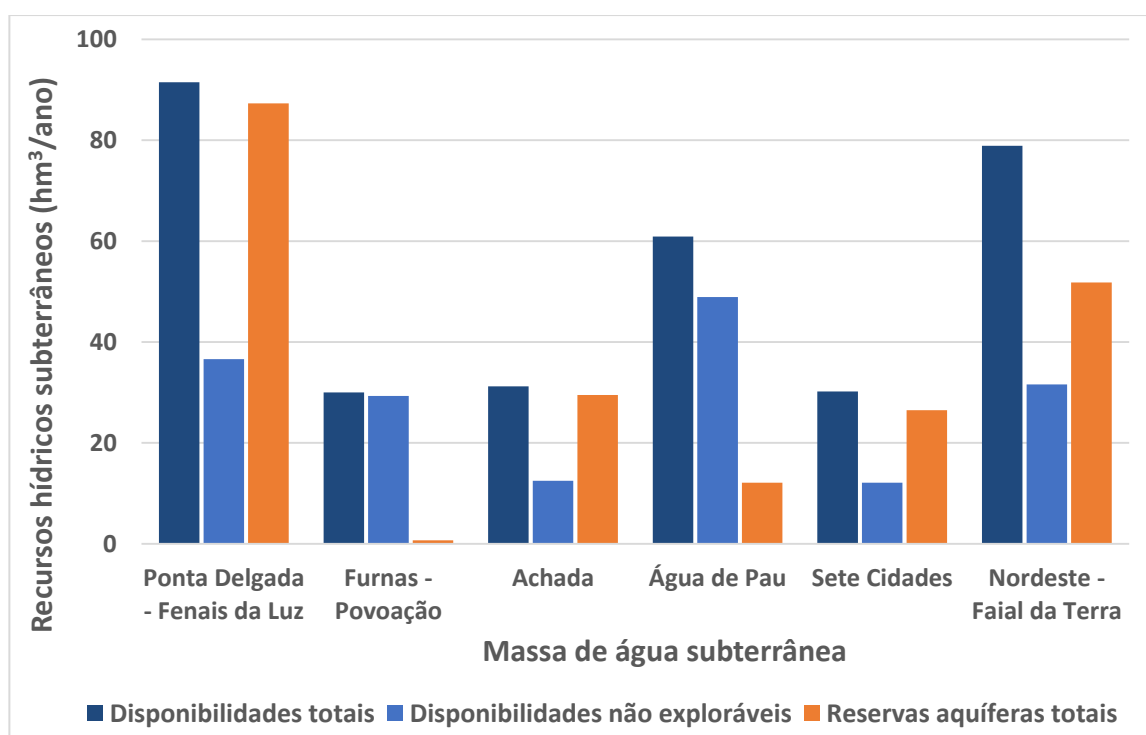


Figura 4.41_ Histograma relativo aos recursos hídricos subterrâneos renováveis (disponibilidades totais), disponibilidades não exploráveis e reservas aquíferas por massa de água na ilha de São Miguel.

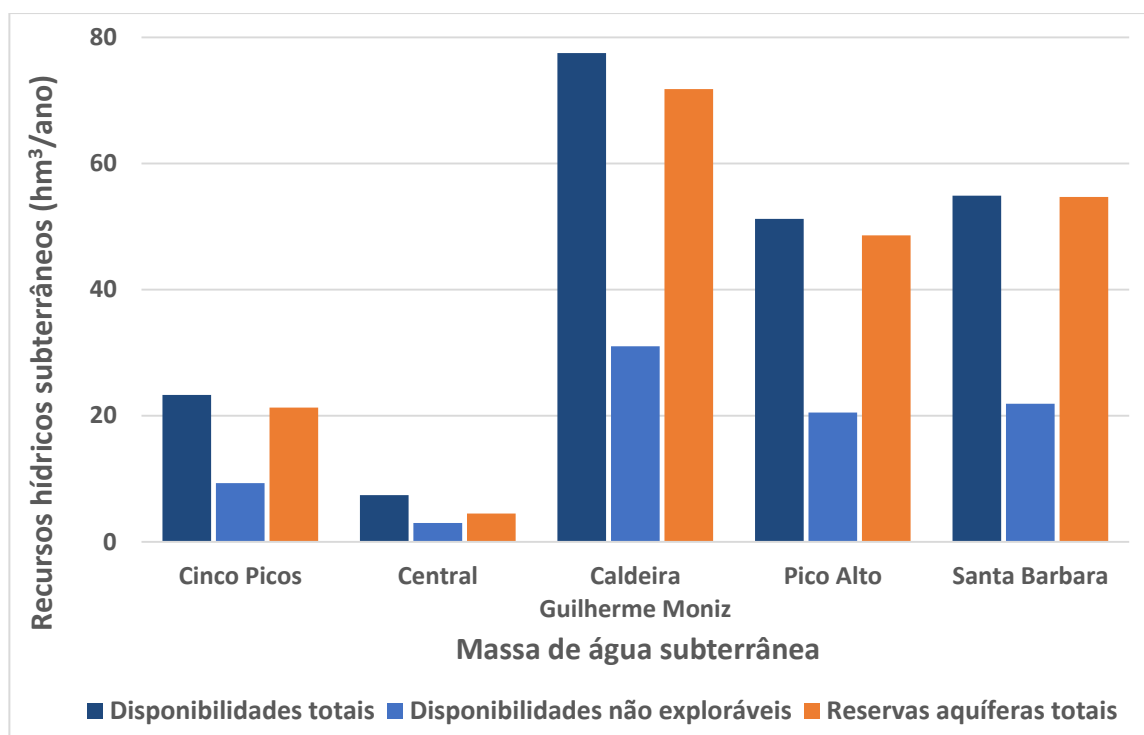


Figura 4.42_ Histograma relativo aos recursos hídricos subterrâneos renováveis (disponibilidades totais), disponibilidades não exploráveis e reservas aquíferas por massa de água na ilha Terceira.

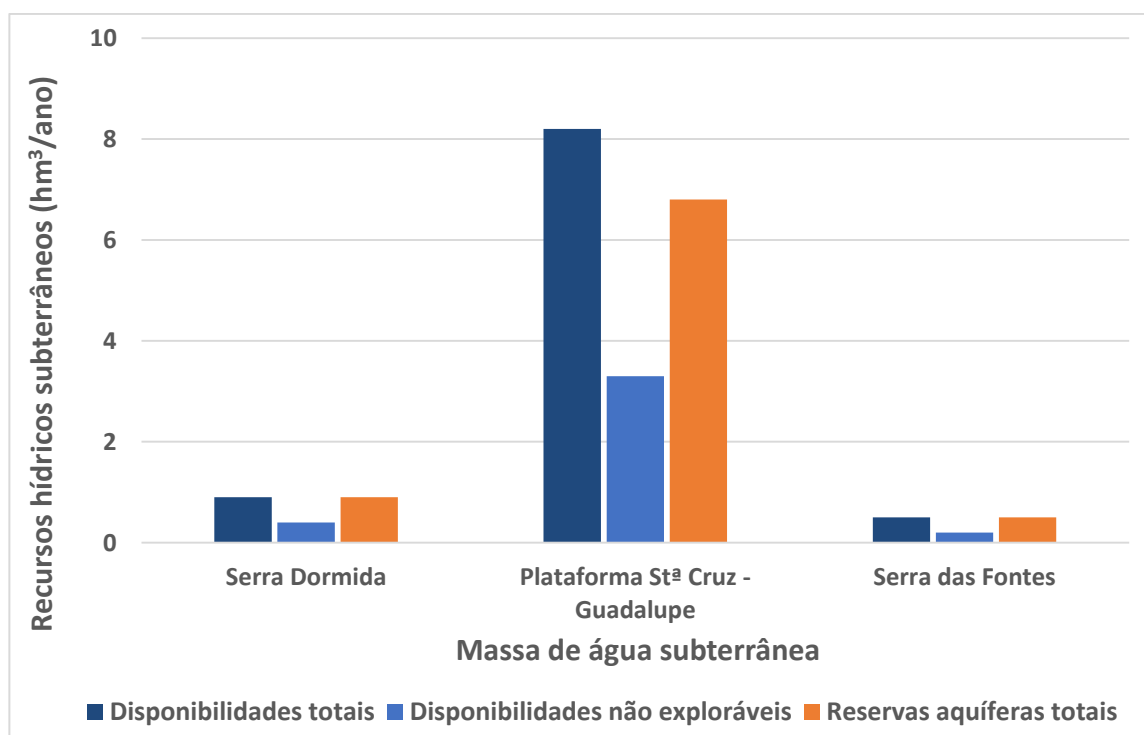


Figura 4.43_ Histograma relativo aos recursos hídricos subterrâneos renováveis (disponibilidades totais), disponibilidades não exploráveis e reservas aquíferas por massa de água na ilha Graciosa.

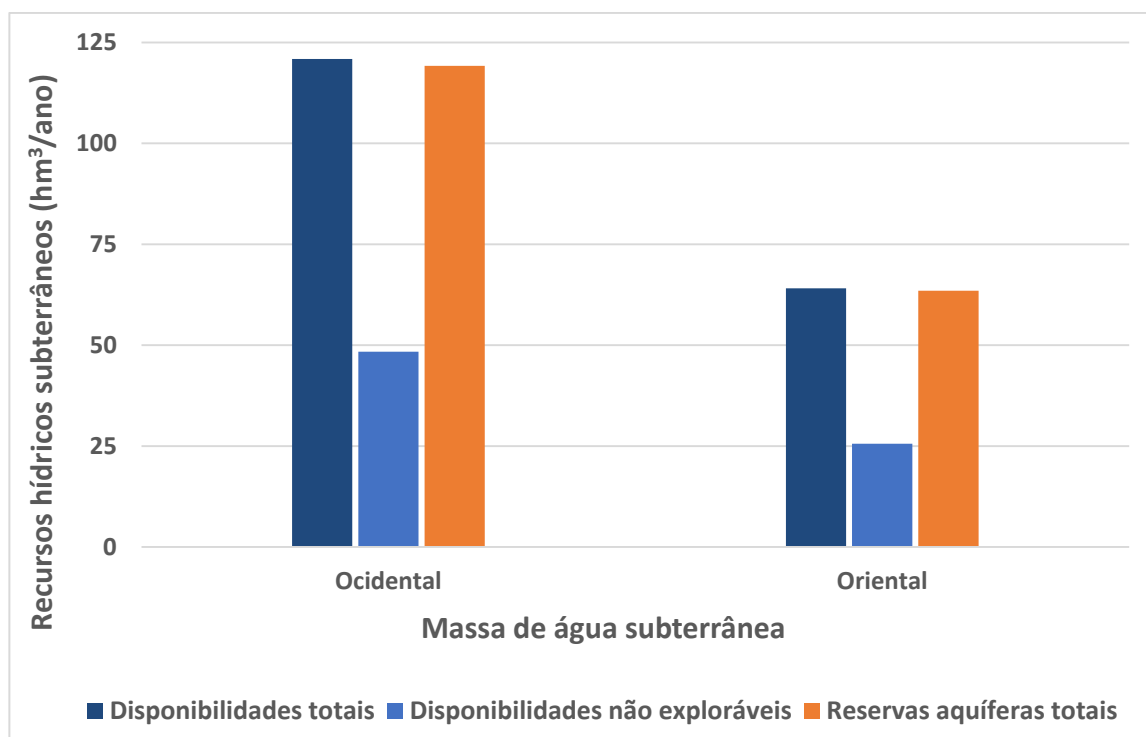


Figura 4.44_ Histograma relativo aos recursos hídricos subterrâneos renováveis (disponibilidades totais), disponibilidades não exploráveis e reservas aquíferas por massa de água na ilha de São Jorge.

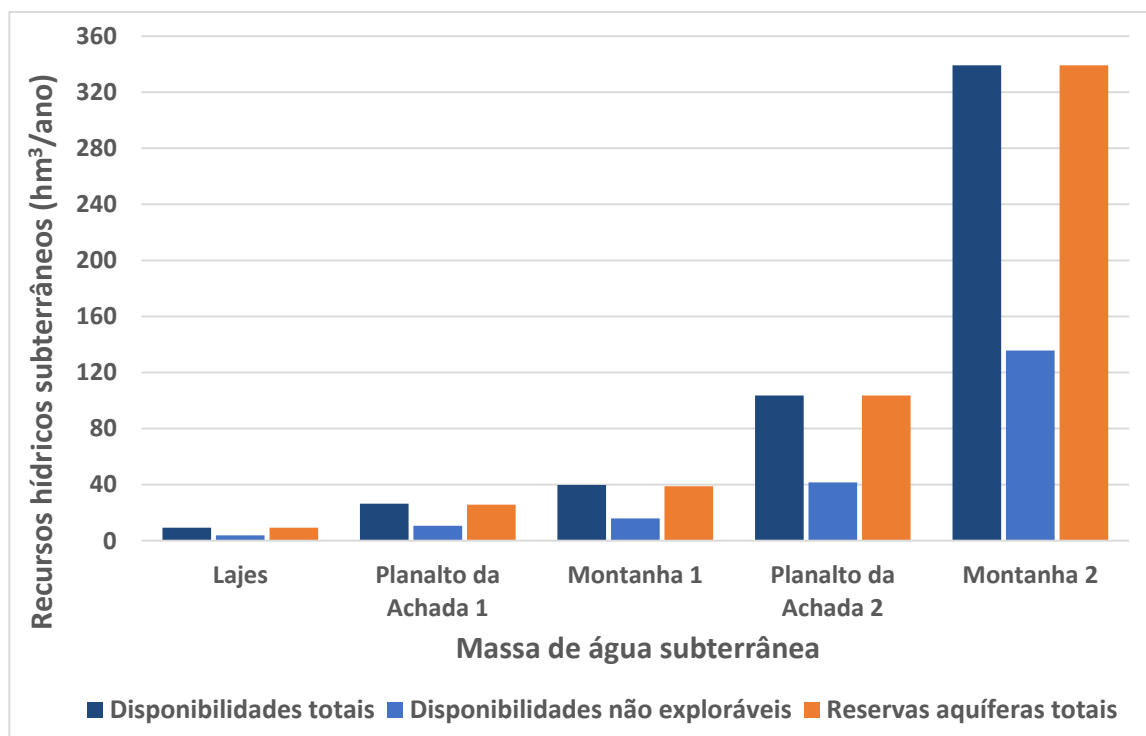


Figura 4.45_ Histograma relativo aos recursos hídricos subterrâneos renováveis (disponibilidades totais), disponibilidades não exploráveis e reservas aquíferas por massa de água na ilha do Pico.

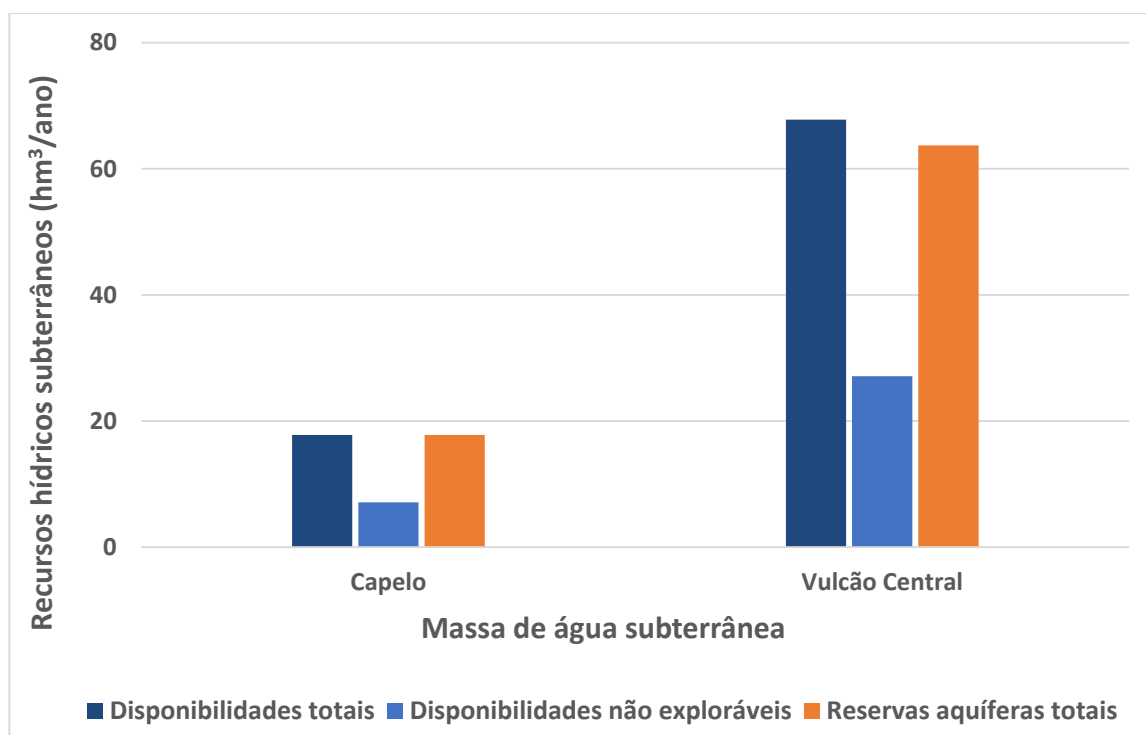


Figura 4.46_ Histograma relativo aos recursos hídricos subterrâneos renováveis (disponibilidades totais), disponibilidades não exploráveis e reservas aquíferas por massa de água na ilha do Faial.

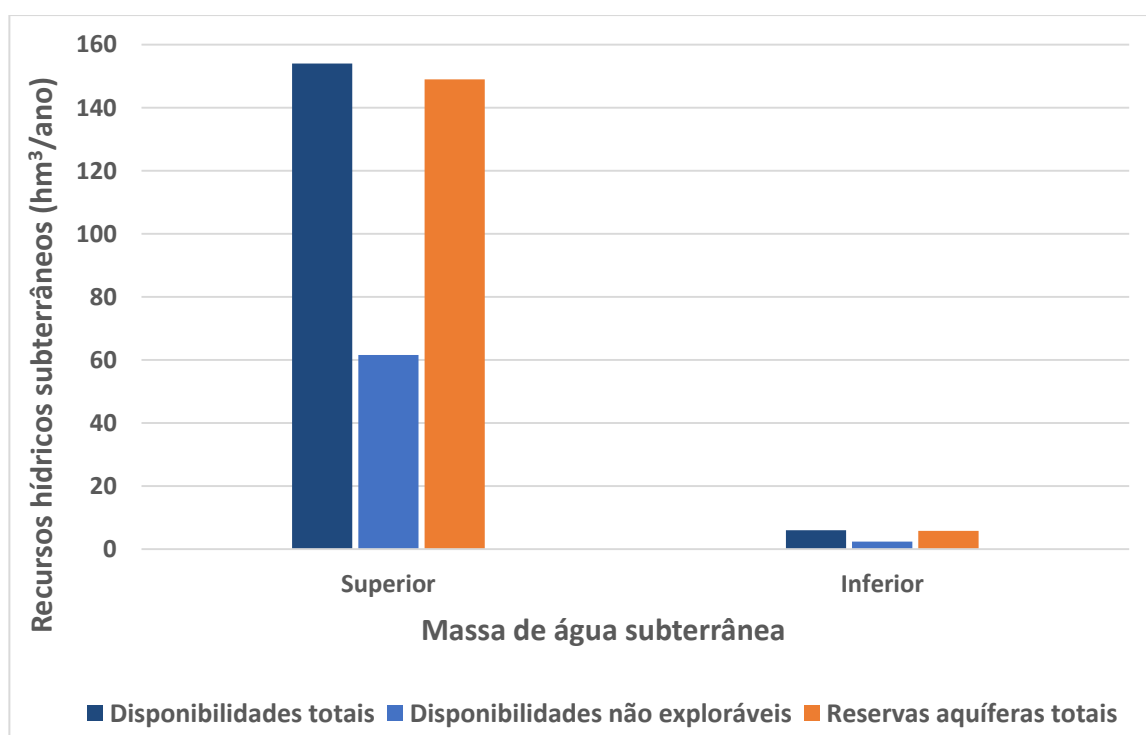


Figura 4.47_ Histograma relativo aos recursos hídricos subterrâneos renováveis (disponibilidades totais), disponibilidades não exploráveis e reservas aquíferas por massa de água na ilha das Flores.

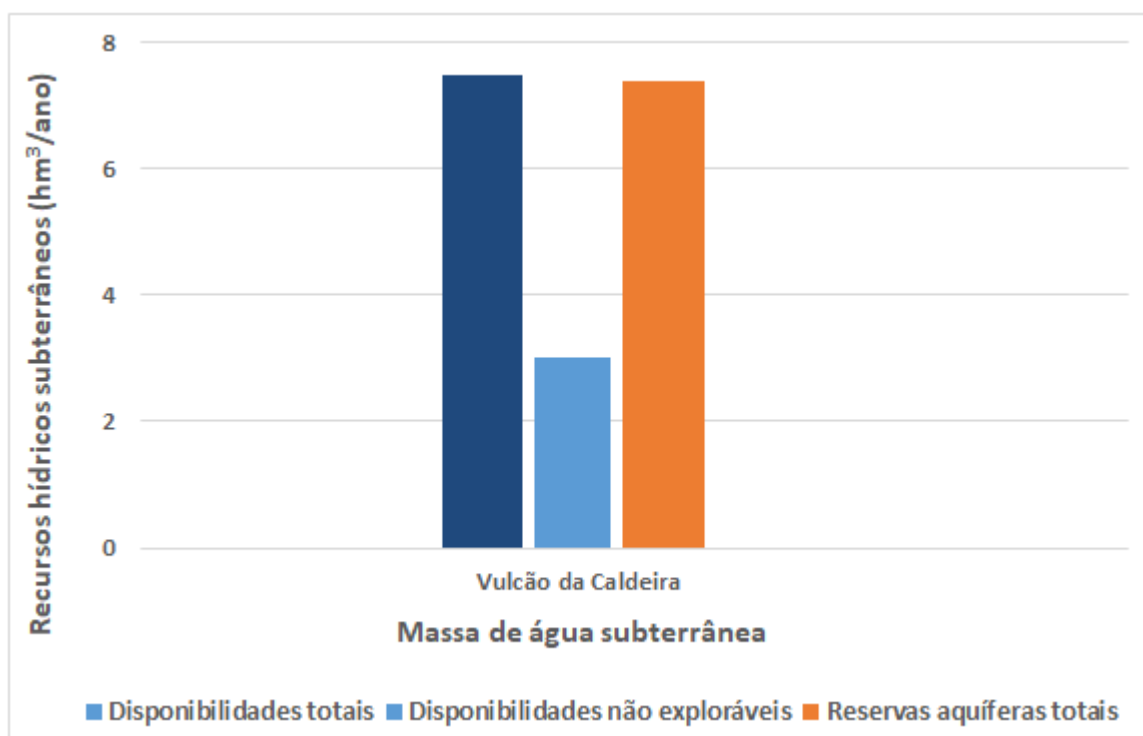


Figura 4.48_ Histograma relativo aos recursos hídricos subterrâneos renováveis (disponibilidades totais), disponibilidades não exploráveis e reservas aquíferas por massa de água na ilha do Corvo.

5. CONCLUSÕES

“À escala regional, o clima das diferentes ilhas dos Açores apresenta diferenciações significativas que resultam particularmente da sua distribuição zonal ao longo de aproximadamente 700km em plena bacia atlântica percorrida por meandros da Corrente Quente do Golfo, bem como da sua distribuição geográfica numa faixa de aproximadamente 3 graus de latitude.

À escala local, o clima de cada uma das ilhas resulta do seu enquadramento climático à escala regional, bem como, e de forma muito significativa, dos mecanismos termodinâmicos que a respetiva orografia é capaz de induzir nas massas de ar que sobre elas circula” (Azevedo, 2015).

Das circunstâncias acima descritas resultam os principais fatores de natureza climática que determinam o balanço hídrico das diferentes ilhas dos Açores.

No que se refere à precipitação, e tendo em conta os valores das normais climatológicas de referência de 1970-1990 (IPMA), esta cresce no litoral de leste para oeste ao longo de toda a extensão do arquipélago, variando entre os 775mm observados na estação do aeroporto de Santa Maria (36° 58' 28" N 25° 09' 56" O) e os 1716mm observados no aeroporto da ilha das Flores (39° 27' 19" N 31° 07' 53" O). A partir deste valor base, os montantes médios anuais da precipitação disponíveis para o balanço hídrico são significativamente incrementados por efeito da orografia de cada uma das ilhas, apresentando uma correlação positiva com a sua configuração e altitude, cuja estimativa (modelo CIELO) aponta para uma distribuição média por ilha a variar entre os 1028mm estimados para a ilha Graciosa, e os 3650mm estimados para a ilha das Flores.

No que se refere aos elementos do clima que interferem no processo da evapotranspiração, estes são de igual modo afetados pelas razões de natureza geográfica e orográfica acima apontadas. Os valores estimados para a evapotranspiração de referência junto ao litoral decrescem com o incremento da longitude e latitude das ilhas, variando entre os 1120mm estimados para o aeroporto de Santa Maria e os aproximadamente 800mm estimados para o litoral das ilhas mais ocidentais do Corvo e das Flores. Novamente, e como resultado do gradiente negativo da temperatura e do incremento da humidade relativa do ar com a altitude bem como da diferente capacidade do relevo gerar nebulosidade orográfica – com implicações no balanço energético – a expressão da variação espacial da evapotranspiração de referência média anual estimada é diferente de ilha para ilha, diminuindo em altitude pelo efeito conjugado da diminuição de energia disponível para o processo, bem como pela diminuição da solicitação atmosférica por via da redução do *deficit* da pressão de vapor. Por outro lado, em sinal contrário, mas até um certo limite, estas circunstâncias são em parte contrariadas com o incremento da evapotranspiração por via do aumento da velocidade do vento em altitude.

Da conjugação da expressão e sazonalidade dos fatores de natureza climática com os de natureza pedológica e de ocupação do solo – fatores com uma natureza mais permanente - resulta a avaliação da evapotranspiração real ou efetiva ao longo do ano, a qual, conjugada com a variação de reserva de água no solo e os montantes suscetíveis de escoar em superfície, condicionam a quantidade de água disponível para a recarga hídrica através da infiltração. De notar porém que a cada uma destas componentes correspondem complexidades distintas – com expressão peculiar no

espaço e no tempo – das quais resultam limites de fiabilidade da informação disponível que se refletem nos resultados do balanço. De facto, o grau de detalhe da informação disponível para a integração de cada uma das diferentes componentes não é equivalente, ora como resultado da sua complexidade, ora como consequência do grau de desenvolvimento circunstancial dos estudos das diferentes especialidades de base.

A título de exemplo, ao longo do presente trabalho revelou-se particularmente evidente a necessidade de incrementar o detalhe da informação sobre parâmetros relevantes das propriedades hidrológicas dos solos, bem como das características da vegetação, de cuja expressão espacial e temporal resultam implicações significativas no balanço. Trata-se naturalmente de matéria complexa que, a par com a constante necessidade de melhoria da avaliação das componentes atmosféricas, tem de merecer particular atenção em trabalhos futuros tendo em vista a atenuação do respetivo efeito “fator limitante”.

Nestas circunstâncias, o presente trabalho, como aliás todos os da mesma natureza, deve ser sempre visto como uma tentativa de interpretação da realidade face à melhor informação disponível aquando da sua realização – suscetível, por isso, de uma constante atualização. Por outro lado, tratando-se de um trabalho fundamentalmente baseado em técnicas de modelação, a sua interpretação deve ter sempre em linha de conta a máxima da modelação ambiental que dita que os *“modelos, por mais sofisticados que sejam, são sempre uma fraca expressão da realidade”*.

Foi, aliás, a constatação das limitações acima apontadas que esteve na base da conceção do projeto ProAAcXXIs – de cuja aplicação resultam muitos dos resultados do presente trabalho - cujos objetivos compreendem a possibilidade de, através de uma plataforma específica (que se encontra atualmente em desenvolvimento no âmbito do referido projeto), seja possível um constante refinamento e atualização das metodologias aplicadas no balanço hídrico, bem como da informação de parametrização utilizada na sua aplicação.

Pese embora as limitações acima apontadas, da avaliação do balanço hídrico no âmbito do HIDROBAL resulta bem evidente uma diferença significativa da “precipitação útil” para a recarga entre as diferentes ilhas com os seguintes valores apresentados por ordem crescente: Graciosa 29%; Santa Maria 32%; São Miguel 49%; Terceira e Corvo 60%; Faial 61%; São Jorge 64%; Pico 70%; Flores 80%. Verifica-se assim que as ilhas Graciosa e Santa Maria são as que apresentam uma maior vulnerabilidade à variabilidade climática, pese embora as diferenças nas respetivas dimensões e morfologia garantam a Sta. Maria uma maior capacidade de retenção e resiliência hídricas.

Quando analisada a sazonalidade dos balanços hídricos sequenciais das diferentes ilhas, ressalta também a evidência da diferenciação hidroclimática de cada uma delas – fruto naturalmente das profundas especificidades que as diferenciam – bem patente nos períodos de recarga hídrica ao longo do ano. No que se refere a esta variável, verifica-se uma capacidade de recarga ao longo de praticamente todo o ano na ilha das Flores, em contraste com os oito meses de recarga nula estimada para a ilha de Santa Maria. De notar porém que a análise deste indicador deve ser conjugada com a das capacidades de retenção de cada uma das ilhas, dependentes naturalmente da sua dimensão, morfologia e geologia, só assim sendo possível a avaliação do respetivo *turnover* hídrico.

No que respeita ao valor bruto da recarga na Região Hidrográfica dos Açores, que equivale ao somatório dos recursos hídricos subterrâneos renováveis estimados para cada unidade hidrogeológica considerando um intervalo de tempo alargado, este é igual a 1523,9 hm³/ano, com valores entre o mínimo de 7,7 hm³/ano (Corvo) e o máximo de a 518

hm³/ano (Pico) (mediana= 159,9 hm³/ano). As taxas de recarga que estiveram na base da determinação dos recursos hídricos subterrâneos variam, para a totalidade do arquipélago, entre 10,2% e 61,3% do valor da pluviosidade.

Considerando o valor de mediana dos recursos hídricos subterrâneos renováveis por massa de água, igual a 30,7 hm³/ano, verifica-se que apenas 50% das massas apresentam valores superiores, nomeadamente nos casos das unidades Ponta Delgada – Fenais da Luz, Achada e Nordeste – Faial da Terra, na ilha de São Miguel, Caldeira Guilherme Moniz, Pico Alto e Santa Bárbara, na Terceira, Ocidental e Oriental, em São Jorge, Montanha 1, Montanha 2 e Planalto da Achada 2, na ilha do Pico, Vulcão Central, no Faial, e Superior, nas Flores. Nas ilhas de Santa Maria e Graciosa todas as massas de água apresentam recursos hídricos subterrâneos renováveis abaixo do valor da mediana supracitado,

A variação mensal da recarga mostra uma distribuição essencialmente entre os meses de setembro/outubro e março/abril. Contudo, na ilha de Santa Maria, a recarga concentra-se em particular nos meses de novembro/dezembro a março, enquanto no caso de algumas massas de água subterrânea da ilha do Pico a recarga ocorre praticamente ao longo de todo o ano, com exceção do mês de julho.

Por forma a aferir as disponibilidades exploráveis, considerando estas de alguma forma passíveis de serem estimadas para cada massa de água subtraindo ao valor da recarga quer o escoamento de base, quer a descarga subterrânea, procedeu-se no primeiro caso à discriminação dos componentes principais do escoamento fluvial sempre que para tal existissem dados que permitissem analisar os hidrogramas. Os escoamentos de base médios mais elevados são estimados nas ribeiras da ilha de São Miguel e no geral a fração do escoamento fluvial explicável a partir da contribuição subterrânea varia entre 48% e 87% do escoamento total. No segundo caso, recorreu-se aos valores da descarga de cada massa de água subterrânea, tal como listados nos documentos técnicos de suporte ao terceiro ciclo de planeamento da Região Hidrográfica dos Açores.

Os resultados obtidos demonstram que, para a grande maioria das massas de água subterrânea, o critério adotado no Plano de Gestão de Região Hidrográfica dos Açores, que consiste em considerar uma fração de 40% do volume global de recursos como uma aproximação quantitativa das disponibilidades subterrâneas não exploráveis, uma vez que permite uma abordagem conservadora, na medida em que o volume de água apurado se revela inferior às reservas estimadas no balanço.

Necessariamente que quanto maior for o período de monitorização dos escoamentos fluviais, através da operacionalidade da rede hidrometeorológica, menor será a incerteza associada ao cálculo do escoamento de base, e assim da estimativa final das disponibilidades subterrâneas totais e exploráveis.

Importa, ainda, realçar que a operacionalização da rede de monitorização quantitativa das massas de água subterrânea permitirá estimar com maior fiabilidade a descarga natural e as extrações de água subterrânea, o que permitirá, deste modo, contribuir para que a estimativa das disponibilidades subterrâneas totais e exploráveis, assim como das reservas, seja também mais robusta.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allen R. G., L. S. Pereira, D. Raes, Smith M. (1998) – Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements (FAO Irrigation and Drainage Paper) – 328 pp., FAO—Food and Agric. Organ. of the U. N., Rome.
- Allen R. G., L. S. Pereira, T. A. Howell, Jensen M.E. (2011) – Evapotranspiration information reporting: I. Factors governing measurement accuracy – *Agric.Wat. Manage*, 98(6), 899–920.
- Allen R.G. (1996) – Assessing integrity of weather data for reference evapotranspiration estimation – *J Irrig. Drain. Eng.* 122(2):97–106. [https:// doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(1996\)122:2\(97\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(1996)122:2(97)).
- Allen R.G. (1997) – Self-calibrating method for estimating solar radiation from air temperature – *J Hydrol. Eng.* 2(2):56–67. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1084-0699\(1997\)2:2\(56\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1084-0699(1997)2:2(56)).
- Almorox J., Senatore A., Quej V.H., Mendicino G. (2016) – Worldwide assessment of the Penman–Monteith temperature approach for the estimation of monthly reference evapotranspiration – *Theor. Appl. Climatol.* <https://doi.org/10.1007/s00704-016-1996-2>.
- Azevedo E. B. (2015) - Enquadramento Climático - IN VULCANOLOGIA DA ILHA DE S. MIGUEL DOS AÇORES / VOLCANOWATCHING. Ed. Victor-Hugo Forjaz – capítulo, páginas 25 a 32. Observatório Vulcanológico e Geotérmico dos Açores. Ponta Delgada, 2015. DL: 400090/15
- Azevedo E.B. (1996) – Modelação do Clima Insular à Escala Local. Modelo CIELO aplicado à ilha Terceira – Ph.D. Thesis. University of the Azores, Portugal, 247 pp.
- Azevedo E.B., Pereira L.S, Itier B. (1999b) – Simulation of local Climate in Islands Environments Using a GIS Integrated Model – *Emerging Technologies for Sustainable Land Use and Water Management*. – Musy et al. (Eds.), Presses Polytechniques et Universitaires Romandes. Lausanne, Switzerland.
- Azevedo E.B., Pereira L.S., Itier B. (1998) – Modeling the Local Climate in Islands Environments. Orographic Clouds Cover – In: R.S.Schmenauer & Bridman (Eds.). *First International Conference on Fog and Fog Collection*. IDRC, Ottawa, Canada. Pp 433-436.
- Azevedo E.B., Pereira, L.S., Itier, B. (1999a) – Modeling the local Climate in island environments: Water Balance Applications – *Agricultural Water Management* 40 (1999) 393-403.
- Azevedo E.B., Rodrigues A.C., Diogo P.A., Rodrigues M.C. (2002) - Infiltração e escoamento em pequenas ilhas vulcânicas. Aproximação Genérica à Quantificação da Infiltração e do Escoamento nas Ilhas dos Açores – Actas do VI Congresso da Água, APRH, Porto, março de 2002.
- Brutsaert W. H. (1982) - *Evaporation into Atmosphere: Theory, History and Applications* - D. Reidel Pub., Dordrecht, 299p.
- Carvalho, M.R. (2009) - Hidrogeologia do Maciço Vulcânico de Água de Pau. Tese de Doutoramento em Geologia, Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Castany, G. (1963) – *Traité pratique des eaux souterraines*. Ed. Dunod, Paris, 657 pp.
- Coutinho, R., Carreira, P.M., Almeida, C., Monge Soares, A.M., Vieira, M.C.R., Carvalho, M.R., Cruz, J.V. (1997) - Utilização de isótopos ambientais no estudo dos sistemas aquíferos do maciço das Sete Cidades, S. Miguel (Açores): resultados preliminares. *Recursos Hídricos* 17: 25-32.
- Cruz, J.V. (1992) - Hidrogeologia da ilha de Santa Maria. Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em Geologia Económica e Aplicada pela FCUL. FCUL, 2 Vol., Lisboa, 486 pp.

Cruz, J.V. (1997) – Estudo hidrogeológico da Ilha do Pico (Açores – Portugal). Tese de Doutoramento em Geologia, Universidade dos Açores, 2 vol., Ponta Delgada, 433 pp.

Deming D. (2002) – Introduction to hydrogeology. McGraw-Hill, Boston, 468 pp.

Doorenbos J., Pruitt W. O. (1977) – Guidelines for predicting crop water requirements – FAO Irrigation and Drainage Paper 24, FAO.

Ferreira, J.P.L. (1991) - Plano para a gestão dos recursos hídricos da ilha de S.Miguel. Avaliação da recarga dos aquíferos da ilha de S.Miguel. Relatório 239/91 - GIAS, LNEC, Lisboa, 86 pp.

Fisher, J.B., Forrest Melton, Elizabeth Middleton, Christopher Hain, Martha Anderson, Richard Allen, Matthew F. McCabe, Simon Hook, Dennis Baldocchi, Philip A. Townsend, Ayse Kilic, Kevin Tu, Diego D. Miralles, Johan Perret, Jean-Pierre Lagouarde, Duane Waliser, Adam J. Purdy, Andrew French, David Schimel, James S. Famiglietti, Graeme Stephens, Eric F. Wood (2017) – The future of evapotranspiration: Global requirements for ecosystem functioning, carbon and climate feedbacks, agricultural management, and water resources – Water Resour. Res., 53, 2618–2626, doi:10.1002/2016WR020175.

Fitts C.R. (2002) – Groundwater science. Academic Press, San Diego, 450 pp.

Gregor, M. (2010) – BFI+ 3.0. User's Manual. Hydro Office, Bratislava, 21 pp.

Hargreaves G.H., Samani Z.A. (1982) – Estimating potential evapotranspiration – J Irrig Drain Eng 108:225–230.

Hipólito JR, Vaz, A.C. (2011) – Hidrologia e Recursos Hídricos. IST Press, Lisboa, 468 pp.

Jensen M. E., Burman R. D., Allen, R. G. (eds.) (1990) - Evapotranspiration and Water Irrigation Requirements - Committee on Irrigation Water Requirements, Irrigation and Drainage Division of ASCE, Manual nº 70, ASCE, New York, 332 p..

Katul G., Novich K. (2009) – Encyclopedia of Inland Waters – Edi. Gene E. Likens. Cary Institute of Ecosystem Studies Millbrook, NY, USA. ISBN 978-0-12-370626-3.

Kresic, N. (1997) – Hydrogeology and groundwater modelling. CRC Press, Boca Raton, 461 pp.

Lencastre A., Franco F. M. (1984) – Lições de Hidrologia. Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 451 pp.

Liu Y, Pereira L.S. (2001) – Calculation methods for reference evapotranspiration with limited weather data – J Hydraul Eng 3:11–17.

McColl, K.A., Rigden, A.J. (2020) – Emergent simplicity of continental evapotranspiration – Geophysical Research Letters, 47, e2020GL087101. <https://doi.org/10.1029/2020GL087101>.

Miranda P.M., M.A. Valente, A.R. Tomé, R.Trigo, M. F. Coelho, A. Aguiar, E.B. Azevedo (2006) – O clima de Portugal nos séculos XX e XXI. F. D. Santos e P. Miranda (editores), Alterações Climáticas em Portugal - Cenários Impactos e Medidas de Adaptação – pp. 49-113. Projecto SIAM_II, Gradiva, Lisboa.

Monteith J.L. (1965) – Evaporation and Environment - in: Foff, G. E. (ed.) - The state and movement of water in living organisms - 19th Symposium, society of Experimental Biology, Swansea (GBR), Cambridge University press. pp. 205-234.

Moratiel, R., Bravo, R., Saa, A., Tarquis, A. M., Almorox, J.(2020) – Estimation of evapotranspiration by the Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO) Penman–Monteith temperature (PMT) and Hargreaves–Samani (HS) models under temporal and spatial criteria – a case study in Duero basin (Spain) – Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 20, 859–875, <https://doi.org/10.5194/nhess-20-859-2020>.

- Paredes P., Fontes J. C., Azevedo E. B., Pereira L.S. (2017a) – Daily reference crop evapotranspiration with reduced data sets in the humid environments of Azores islands using estimates of actual vapor pressure, solar radiation, and wind speed – *Theoretical and Applied Climatology*, 134(3–4), 1115–1133.
- Paredes P., Geraldo J. R., Petry M.T., Severo P.O., Pereira L.S. (2018) – Evapotranspiration Partition and Crop Coefficients of Tifton 85 Bermudagrass as Affected by the Frequency of Cuttings. Application of the FAO56 Dual Kc Model– *Water*, 10, 558; doi:10.3390/w10050558.
- Paredes, P., Fontes, J. C., Azevedo, E. B., & Pereira, L. S. (2017b) – Daily reference crop evapotranspiration in the humid environments of Azores islands using reduced data sets: accuracy of FAO-PM temperature and Hargreaves-Samani methods – *Theoretical and Applied Climatology*, 134(1–2), 595–611.
- Penman H.L. (1948) – Natural evaporation from open water, bare soil and grass – *Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences*, 193 (1032), 120-145.
- Pereira L.S. (2017) – Water, agriculture and food: challenges and issues – *Water Resource Management* 31(10):2985–2999. <https://doi.org/10.1007/s11269-017-1664-z>.
- Pereira L.S., Allen R.G., Smith M., Raes D. (2015) – Crop evapotranspiration estimation with FAO56: past and future – *AgricWater Manag* 147:4– 20. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.07.031>.
- Pereira L.S., Perrier A., Allen R.G., Alves I. (1999) - Evapotranspiration: review of concepts and future trends – *J Irrig Drainage Eng* 125(2):45– 51. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(1999\)125:2\(45\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(1999)125:2(45)).
- ProAAcXXIs. *Projeção das Alterações Climáticas Nos Açores para o século XXI -Implicações de interesse hidrológico e ambiental*. PO_Açores 2020 (PO Açores 01-0145-FEDER-000037).
- Raziei T., Pereira L.S. (2013) – Estimation of ETo with Hargreaves-Samani and FAO-PM temperature methods for a wide range of climates in Iran – *AgricWater Manag* 121:1–18. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2012.12.019>.
- Rodrigues M.C. (2002) – Recursos Hídricos e Património Natural em Territórios Insulares – Tese de Mestrado em Gestão e Conservação da Natureza – Universidade dos Açores.
- Rodrigues, F.C. (2002) – Hidrogeologia da ilha Terceira (Açores - Portugal). Dissertação para a obtenção do grau de Doutor em Engenharia do Ambiente, Universidade dos Açores, Angra do Heroísmo, 418 pp.
- Rosenberg N. J., Blad, B. L., Verma, S. B. (1983) - *Microclimate. The Biological Environment* - (2nd ed.), John Wiley & Sons, New York, 495 p.
- Santos F.D., Valente M.A.; Miranda P.M., Aguiar A., Azevedo, E.B., Tomé A., Coelho F.E. (2004) – Climate Change Scenarios in the Azores and Madeira islands – *World Resource Review*, 16, No 3, 473-491.
- Serviços Cartográficos do Exército – Instituto Geográfico do Exército (Coleção - CARTA MILITAR DE PORTUGAL 1:25000. Açores, série M889).
- Williams A.P., Cook E.R., Smerdon J.E., Cook B.I., Abatzoglou J.T., Nolles K., Baek S.H., Badger A.B., Livneh B. (2020) – Large contribution from anthropogenic warming to an emerging North American megadrought – *Science: Vol. 368, Issue 6488*, pp. 314-318 DOI: 10.1126/science.aaz9600.

ANEXO

[Página propositadamente deixada em branco]

