

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS
E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA FÍSICA**

DANIEL DOS SANTOS PEREIRA

**ANÁLISE DA DINÂMICA HÍDRICA NAS UNIDADES GEOLÓGICO-
GEOMORFOLÓGICAS QUATERNÁRIAS (UQ) DA BACIA DO RIO
GUARATUBA, BERTIOGA (SP).**

SÃO PAULO
2011

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS
E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA FÍSICA**

DANIEL DOS SANTOS PEREIRA

**ANÁLISE DA DINÂMICA HÍDRICA NAS UNIDADES GEOLÓGICO-
GEOMORFOLÓGICAS QUATERNÁRIAS (UQ) DA BACIA DO RIO
GUARATUBA, BERTIOGA (SP).**

ORIENTADORA: Prof.^a Dr.^a CELIA REGINA DE GOUVEIA SOUZA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia Física, do Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, para Obtenção do Título de Mestre em Geografia Física.

Área de Concentração: Geografia Física.

SÃO PAULO
2011

FOLHA DE APROVAÇÃO

Autor: Daniel dos Santos Pereira

Título do Trabalho: Análise da Dinâmica
Hídrica nas Unidades Geológico-
Geomorfológicas Quaternárias (UQ) da
Bacia do Rio Guaratuba, Bertioga (SP).

Natureza do Trabalho: Dissertação

Grau Pretendido: Mestre

Instituição: Universidade de São Paulo

Área de Concentração: Geografia Física

Orientadora: Celia R. de G. Souza

São Paulo

Ano de Depósito: 2011

Volumes: 01

Data de Aprovação ____/____/____

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Celia Regina de Gouveia Souza (USP-FFLCH-DG/IG-SMA)

Prof. Dr. Emerson Galvani (USP-FFLCH-DG)

Dr. Marcio Rossi (IF – SMA)

À Elaine dos Santos Rovati

AGRADECIMENTOS

Meus sinceros agradecimentos a todas as pessoas que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

Primeiramente, agradeço à minha família: Valquíria, Vanessa e ao meu grande pai Miguel, pelo apoio incondicional. À minha mãe, Nalva, que teve pouco tempo ao meu lado, mas ser responsável por meu nascimento e por minha permanência neste mundo.

Agradeço à Elaine, pelo amor, amizade, apoio, paciência, e por tolerar minhas ausências. Por fazer minha vida feliz e sempre acreditar no meu potencial.

Aos meus amigos, por estarem presentes nos momentos divertidos, e nos momentos difíceis também. Principalmente, à Prof^a. Angela, por ter sido minha educadora, professora, orientadora e, principalmente, por ser a amiga nos momentos de alegrias e de dificuldades.

A todos os professores, que fizeram parte da minha vida desde meus primeiros passos na pré escola, até as disciplinas da pós graduação, sendo fundamentais em minha formação cultural, profissional e, por vezes, pessoal.

À equipe de trabalho, Jaime e Felipe, pois foram fundamentais nos trabalhos de campo, e dividirem comigo sua experiência acadêmica. Ao Agenor por ajudar com muita dedicação na realização deste trabalho, e por seus conselhos acadêmicos, profissionais e para a vida, através de boas conversas entre vodkas e cervejas.

À Prof^a. Dr^a. Celia Regina de Gouveia Souza, pela dedicação em orientar, por dividir comigo seu conhecimento e experiência, sempre incentivar meu crescimento acadêmico e profissional. Além de sua dedicação acadêmica, foi amiga, pois sempre esteve presente nos momentos bons e difíceis.

À FAPESP, por tornar a realização deste trabalho possível através da bolsa de mestrado (processo 2008/56026-0), e pelo suporte financeiro ao projeto “Caracterização Ambiental Integrada, Risco Ecológico e Suscetibilidade Ambiental dos Sub-Biomas Remanescentes de Planície Costeira e Baixa-Média Encosta no Município de Bertioga (SP)”, processo 2008/58549-0, o qual este trabalho está inserido.

RESUMO

Bertioga possui todos os tipos de Unidades Geológicas-Geomorfológicas Quaternárias (UQs) que podem ser encontradas no restante do litoral paulista, encaixados em uma planície costeira de pequenas dimensões. Tendo em vista a escassez de trabalhos que integrem os atributos hidrológicos da paisagem, o objetivo desta pesquisa foi analisar a dinâmica hídrica atmosférica, subterrânea e superficial da Bacia do Rio Guaratuba, tendo como viés a distribuição espacial das UQs, a partir de uma série de monitoramento de 24 meses, entre julho/2009 e agosto/2011. Para tanto foram analisados os seguintes componentes hídricos: (a) atmosféricos - por meio da análise das distribuições de pluviosidade, temperatura e umidade relativa do ar, para a caracterização do balanço hídrico climático (BHC) da bacia; (b) subterrâneos, a partir da variabilidade do nível do lençol freático; (c) superficial por meio da análise morfométrica das UQs. Os resultados foram tratados à luz de análises sinóticas dos sistemas atuantes no período de monitoramento e das séries históricas (décadas de 1960 a 1990) de pluviosidade e temperatura. Foi identificada uma tendência positiva na distribuição das chuvas, da praia para a baixa encosta da Serra do Mar, caracterizando assim o efeito orográfico. Chamou a atenção à ocorrência de invernos bastante úmidos em 2009 e 2010, ao contrário de 2011 e das tendências da série histórica. Neste sentido, não se pode descartar a possibilidade de influência de fenômenos de mesoescala, como o ENOS (*El Niño* e Oscilação Sul). Entre 2009 e meados de 2010 atuou o *El Niño*, sucedido pela La Niña, desde junho/2010 até o presente momento (início do decaimento em maio/2011, segundo dados do INPE). Os índices registrados se assemelham aos do ano de 1990, quando também ocorreu elevado volume de chuva durante o inverno e atuava um *El Niño* de forte intensidade. A temperatura e a umidade relativa do ar variaram de modo mais marcante entre áreas naturais e antropizadas, embora tenham se apresentado relativamente elevadas durante todo o período de monitoramento, quando comparadas às médias para a região. O BHC normal (série histórica) apresentou déficit hídrico apenas em agosto, com todos os outros meses caracterizando excedentes hídricos. Já o BHC sequencial (período de monitoramento) alternou-se entre excedentes hídricos elevados e meses de déficit hídrico, como ocorreu em abril e maio/2010 e maio e junho/2011. Portanto, entre essas duas séries parece ter havido uma migração do período seco, de agosto para abril/junho. Na planície costeira os níveis de lençol freático (NA) mais profundos ocorrem nas UQs mais antigas e de topografia mais elevada (terraços marinhos e fluviais pleistocênicos), localizados salvo quando há interferência local do horizonte B espódico, que regula a profundidade do (NA) e pode torná-lo temporariamente mais elevado ou mesmo suspenso. Os mais rasos (aflorantes e subaflorantes) estão nas paleodepressões estuarinas-lagunares holocênicas a atuais, localizadas na porção central da bacia. A oscilação vertical do NA ao longo do tempo apresentou correlação positiva com a variação mensal do BHC sequencial, mostrando que o sistema está em relativo equilíbrio.

Palavras-Chave: Planície Costeira, Unidades Quaternárias, Bacia Hidrográfica, ENOS, Dinâmica Hídrica.

ABSTRACT

Bertioga has all kinds of Quaternary Geomorphological-Geological units (UQs) that can be found in the rest of the coast paulista, embedded in a small coastal plain. Given the paucity of studies that incorporate the attributes of the hydrological landscape, the aim of this study was to analyze the dynamics of atmospheric water, groundwater and surfacewater of the Guaratuba River Basin, with the bias of the spatial distribution UQs from a series of 24 month-monitoring between July/2009 and August/2011. Therefore, were analyzed the following hydrological components: (a) atmospheric - by analyzing the distribution of rainfall, temperature and relative humidity, to characterize the climatic water balance (BHC) basin, (b) underground, from variability of groundwater level, (c) surface by means of morphometric analysis of UQs. The results were treated in the light of analysis of the synoptic systems operating in the rainfall and temperature monitoring period and the time series (the 1960's to 1990's). It was identified a positive trend in the rainfall distribution, from the beach to the low slope of Serra do Mar, characterizing the orographic effect. Attention has been drawn to the occurrence of very wet winters in 2009 and 2010, unlike 2011 and the historical series trends. In this sense, one cannot rule out the influence of mesoscale phenomena such as ENSO (El Niño and Southern Oscillation). Between 2009 and mid-2010 El Niño has happened, followed by La Niña, from June/2010 to the current date (beginning of the decay in May/2011, according to data from INPE). The rates are similar to those from the year 1990, when high rainfall also occurred during the winter and El Niño happened. The temperature and relative humidity ranged from a more marked way between natural and disturbed areas, although they have been performing relatively high throughout the monitoring period, compared to the averages for the region. The BHC normal (series) had only water deficit in August, with every other month featuring over water. Since the BHC sequential (monitoring period) alternated between high water surpluses and months of drought, as occurred in April and May/2010 and May and June/2011. Therefore a migration of the dry period from August to April/ June seems to have happened between these two series. The deeper coastal plain groundwater levels (NA) occur in oldest and with highest topography (Pleistocene marine terraces and river) UQs, located except when there is local spodic B horizon interference, which regulates the depth of the (NA) and can make it higher or temporarily suspended. The shallowest ones (outcrop and under outcrop) are in the lagoon-estuarine paleodepressions the current Holocene, located in the central portion of the basin. The vertical oscillation of the NA over time was positively correlated with the monthly variation of BHC sequence, showing that the system is in relative balance.

Keywords: Coastal plain, Quaternary Units, River Basin Hydro, ENOS, Dynamic Water.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização do município de Bertiooga e da Bacia do Rio Guaratuba.....	20
Figura 2: Temperatura média registrada na Base Aérea de Santos (Município do Guarujá) para a com série histórica de 1961-1990 (fonte: INMET, 1992).....	23
Figura 3: Pluviosidade média registrada no posto E2-125, no município de Bertiooga, para a série histórica de 1970-1994 (fonte: DAEE, 2009).	24
Figura 4: Mapa das Unidades Quaternárias de Planície Costeira e Baixa-Média Encosta da Bacia do Rio Guaratuba (Souza, 2007).....	26
Figura 5: Micro-biomas de planície costeira e baixa-média encosta nas Bacias dos rios Itaguapé e Guaratuba (Souza <i>et al.</i> , 2009).....	31
Figura 6: Fluxograma representativo do sistema hidrológico.....	33
Figura 7: Localização dos pluviômetros (Pluv) no Condomínio Morada da Praia (base: ortofotorretificada de 2001 (Instituto Florestal, PPMA/KfW).....	35
Figura 8: Sensor ambiental com transmissão remota de medições de chuva por sinal 868 Mhz; à esquerda, receptor digital sem fio.....	36
Figura 9: Pluviômetro em atividade no perfil Morada da Praia (Pluv-6). O sensor ambiental está sobre o tubo maior, à direita, e o receptor digital encontra-se no interior do tubo menor. Notar a placa identificadora em azul.....	37
Figura 10: (esquerda). Sensor ambiental fixado sobre o muro da barragem de captação de água do Condomínio Morada da Praia (Pluv-7).....	38
Figura 11: (a) Medida de T e %UR utilizando o Termo Higrômetro. (b) Aferição de T e %UR do ar com o uso de Psicrômetro.....	39
Figura 12: Exemplo de comparação de dados de Temperatura média do ar medida no mês de agosto de 2009, em vários pontos Termohigrômetro digital. (a). (b) Psicrômetros de ventilação forçada (Pereira & Souza, 2010).....	40
Figura 13: Localização dos Piezômetros (Piez) na Bacia do Rio Guaratuba (base: ortofotorretificada de 2001 (Instituto Florestal, PPMA/KfW).....	44
Figura 14: Esquema de um piezômetro montado, com detalhe de suas peças e materiais utilizados e as zonas correspondentes.....	44
Figura 15: (a) Processo de escavação de uma trincheira em depósito arenoso.(b) Perfuração de poço de monitoramento com trado manual.....	48
Figura 16: Piezômetro instalado, ainda posicionado dentro do tubo-guia.....	49
Figura 17: Poço de monitoramento piezométrico selado com pellets de bentonita (usados para impermeabilizar a superfície do terreno), e identificado com placa plastificada.....	50
Figura 18: Exemplo de amostra circular, com 0,5 km ² , a partir do piezômetro C sobre LPTb (base adaptada de Souza, 2007).....	52
Figura 19: Curva de pluviosidade da Bacia do Rio Guaratuba. Julho de 2009 e agosto de 2011.....	56
Figura 20: Curvas de pluviosidade mensal para alguns meses com influência do El Niño. Fonte de dados de precipitação média para série histórica de 1970 a 1994 (DAEE, 2009).....	61
Figura 21: Distribuição da média pluviométrica (jul/09 a ago/11), ao longo das UQs onde foram instalados os pluviômetros, na bacia do Rio Guaratuba.....	63
Figura 22: Variação da temperatura média do ar e umidade relativa do ar registrada nos pluviômetros e nos piezômetros instalados na Bacia do Rio Guaratuba, durante julho/2009 e agosto/2011.....	66
Figura 23: Curva de evapotranspiração para a bacia do Rio Guaratuba. (Fonte: dados de temperatura do ar/série histórica de 1961 a 1990, INMET).....	67

Figura 24: BHC normal para a bacia do Rio Guaratuba. Fonte de dados de precipitação média para série histórica de 1970 a 1994 (DAEE, 2009). CAD de 150 mm.....	69
Figura 25: Curva de evapotranspiração para a Bacia do Rio Guaratuba. Dados de temperatura coletados em campo no período entre julho/2009 e agosto/2011.....	71
Figura 26: BHC sequencial para a bacia do Rio Guaratuba. Dados de precipitação coletados entre julho/2009 e agosto/2011. CAD de 150 mm.....	73
Figura 27: Média anual da pluviosidade registrada nos pluviômetros da Bacia do Rio Guaratuba durante julho de 2009 e agosto de 2011. Média histórica do posto E2-125, para o período 1970-1994.....	74
Figura 28: Média anual da temperatura do ar registrada na Bacia do Rio Guaratuba durante julho de 2009 e agosto de 2011. Média dados de temperatura do ar/série histórica de 1961 a 1990, INMET.....	75
Figura 29: Curvas de evapotranspiração para a Bacia do Rio Guaratuba, com dados de temperatura coletados em campo no período entre julho/2009 e agosto/2011, e de evapotranspiração para a bacia do Rio Guaratuba. (Fonte: dados de temperatura do ar/série histórica de 1961 a 1990, INMET).....	76
Figura 30: (a) BHC normal para a bacia do Rio Guaratuba. Fonte de dados de precipitação média para série histórica de 1970 a 1994 (DAEE, 2009). CAD de 150 mm. (b) BHC sequencial para a bacia do Rio Guaratuba. Dados de precipitação coletados entre julho/2009 e agosto/2011. CAD de 150 mm.....	78
Figura 31: (a) Perfil esquemático do Piezômetro A1, em LHTb/FbR. (b) Perfil esquemático do Piezômetro A2, em LHTb/FaR.....	80
Figura 32: (a) Perfil esquemático do Piez-B, em LHTa/FaR. (b) Perfil esquemático do Piez-C, em LPTb/FaR.....	81
Figura 33: (a) Perfil esquemático do Piez-E1, em LPTa/FaR. (b) Perfil esquemático do Piez-E2, em LCD/FaRu.....	82
Figura 34: (a) Perfil esquemático do Piez-F, em LPTb/FaR. (b) Perfil esquemático do Piez-G, em LMP/FTr.....	83
Figura 35: Perfil esquemático do Piez-H, em LCR/FTr.....	84
Figura 36: Curva de variação vertical do nível do lençol freático (NA). Monitoramento realizado entre agosto/2009 e agosto/2011.....	87
Figura 37: Curva de variação vertical do nível do lençol freático (NA). Monitoramento realizado entre agosto/2009 e agosto/2011.....	87
Figura 38: Mapa da rede de drenagem fotointerpretada da Bacia do Rio Guaratuba (base fotografias aéreas de 2001 – Instituto Florestal, PPMA/KfW).....	90

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Síntese das características físicas das UQ de planície costeira e baixa-média encosta no município de Bertioga (Souza <i>et al.</i> , 2009).....	28
Tabela 2: Pluviosidade registrada nos pluviômetros instalados na Bacia do Rio Guaratuba, durante julho de 2009 e agosto de 2011.....	54
Tabela 3: Síntese sinótica para a região em que se insere a área de estudo. Julho de 2009 e agosto de 2011. Fonte: http://www.cptec.inpe.br/noticias/noticia/16349 . (Acesso a partir agosto de 2009 a setembro de 2011).....	58
Tabela 4: Histórico de ocorrência de El Niño e La Niña, entre 1877 e 2010. Fonte: http://enos.cptec.inpe.br/ , acessado em 25/10/2011.....	60
Tabela 5: Dados de temperatura média do ar e umidade relativa do ar registrada nos pluviômetros e nos piezômetros instalados na Bacia do Rio Guaratuba, durante julho de 2009 e agosto de 2011.....	65
Tabela 6: Evapotranspiração para a Bacia do Rio Guaratuba (Fonte: dados de temperatura do ar/série histórica de 1961 a 1990, INMET).....	67
Tabela 7: BHC normal para a Bacia do Rio Guaratuba. Fonte de dados de precipitação média para série histórica de 1970 a 1994 (DAEE, 2009). CAD de 150 mm.....	68
Tabela 8: Evapotranspiração para a bacia do Rio Guaratuba. Dados de temperatura coletados em campo no período entre julho/2009 e agosto/2011.....	70
Tabela 9: BHC sequencial para a bacia do Rio Guaratuba. Dados de precipitação coletados entre julho/2009 e agosto/2011. CAD de 150 mm.....	71
Tabela 10: Registros de variação vertical do nível do lençol freático (NA). Monitoramento realizado entre agosto/2009 e agosto/2011.....	86
TABELA 11: Ordem hierárquica segundo Strahler (1957) dos canais e número total de canais por amostra circular (UQ).....	92
TABELA 12: Comprimento total dos canais por ordem hierárquica, em cada amostra circular (UQ).....	93
TABELA 13: Comprimento médio dos canais por ordem hierárquica, em cada amostra circular (UQ).....	94
TABELA 14: Freqüência de canais (F) e Densidade de drenagem (Dd) das UQs, a partir das amostras circulares.....	94

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
2. OBJETIVOS.....	18
2.1 Objetivos Gerais.....	18
2.2 Objetivos Específicos.....	18
3. ÁREA DE ESTUDO.....	19
3.1 Localização.....	19
3.2 Aspectos Sociais.....	21
3.3 Clima.....	21
3.4 Geologia e Geomorfologia.....	24
3.5 Águas Subterrâneas.....	27
3.6 Fitofisionomias.....	29
3.7 Ecologia.....	29
4. MATERIAIS E METODOLOGIA.....	32
4.1 Caracterização Climática.....	33
4.1.1 Pluviosidade.....	33
4.1.2 Temperatura Média e Umidade Relativa do Ar.....	38
4.1.3 Balanço Hídrico Climatológico (BHC).....	40
4.1.3.1 Estimativa da Evapotranspiração.....	41
4.1.3.2 BHC Normal.....	41
4.1.3.3 BHC Sequencial.....	42
4.2 Caracterização do Nível do Lençol Freático.....	43
4.3 Caracterização da Rede de Drenagem Superficial nos Ambientes Sedimentares Quaternários.....	50
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	53
5.1 Caracterização Climática.....	53
5.1.1 Pluviosidade.....	53
5.1.2 Temperatura e Umidade Relativa do Ar.....	63
5.1.3 Balanço Hídrico Climatológico (BHC).....	66
5.1.3.1 BHC Normal.....	66
5.1.3.2 BHC Sequencial.....	69
5.1.4. Comparação Entre as Médias Climatológicas.....	73
5.1.4.1. Pluviosidade.....	73
5.1.4.2. Temperatura do Ar (T) e Umidade Relativa do Ar.....	75
5.1.4.3. Balanço Hídrico Climatológico (BHC).....	75
5.1.4.3.1. Evapotranspiração.....	75
5.1.4.3.2. Comparação Entre o BHC Normal e a Média do BHC Sequencial.....	77
5.2. Caracterização do Nível do Lençol Freático.....	79
5.2.1. Caracterização dos Ambientes.....	79
5.2.2. Nível do Lençol Freático	85
5.3. Análise Morfométrica.....	89
6. CONCLUSÕES.....	96
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	100

1. INTRODUÇÃO

A ocupação das planícies costeiras brasileiras teve início a partir da colonização portuguesa. Tinha, inicialmente, objetivos estritamente militares, estratégicos e agrícolas (Cruz, 2003). Nos dias atuais, a apropriação destas dessas planícies é intensa, e ocorre através de diferentes atividades como: especulação imobiliária, implantação de pólos industriais e espaços destinados à prática social do turismo, o que vem causando significativa expansão demográfica. Este tipo de apropriação do espaço faz com que a ocupação dessas áreas venha ocorrendo de forma inadequada, provocando aumento da densidade demográfica (pois a maioria das capitais dos estados litorâneos está localizada na planície costeira) e sérios problemas ambientais, que têm afetado os ecossistemas costeiros (Souza, 2006).

No litoral paulista a situação não é diferente. De acordo com Souza *et al.*(2001)., as pressões sócio-econômicas exercidas na zona costeira (ZC) paulista vêm desencadeando um processo acelerado de urbanização, que promove intensa degradação ambiental e diversos impactos negativos, principalmente nos setores da Baixada Santista e do Litoral Norte. Como consequência, essas regiões sofrem com diversos problemas e conflitos ligados à utilização sustentável de seus recursos naturais, à manutenção da qualidade ambiental, ao desencadeamento e/ou aumento da frequência e intensidade de perigos naturais e à resolução de questões institucionais. Esses problemas são ameaças à sustentabilidade econômica e à qualidade ambiental e de vida das populações humanas (Filet *et al.*, 2001; Souza, 2003/2004).

Embora existam todos estes problemas, a ZC do Estado de São Paulo está agregada à rede mundial de Reservas da Biosfera (UNESCO) desde 1992, por ainda preservar grande diversidade de ambientes naturais, representados por

extensos maciços e fragmentos bem preservados de Mata Atlântica e ecossistemas associados. Neste sentido, estão presentes extensas áreas de cobertura de Floresta Ombrófila Densa (Parque Estadual da Serra do Mar), diferentes fisionomias de Vegetação de “Restinga”, extensos manguezais e praias representativas de todos os estados morfodinâmicos e um conjunto de promontórios, costões rochosos e ilhas. (Souza & Suguio, 1996; Filet *et al.*, 2001).

À exceção dos manguezais, todas as vegetações que recobrem as planícies costeiras têm sido inadequadamente denominadas de “Vegetação de Restinga” (Souza, 2006). A aplicação do termo “restinga”, na literatura e na legislação, foi discutida por Souza *et al.* (2009).

A relação entre as fitofisionomias (descritas na Resolução CONAMA nº 07/1996) e os substratos geológicos quaternários presentes no litoral paulista tem sido demonstrada nos trabalhos de Souza *et al.* (1997), Souza (2006); Souza e Luna (2008) e Souza *et al.* (2007, 2008). Esses trabalhos sugerem que o desenvolvimento das fitofisionomias de planície costeira e baixas-médias encostas da Serra do Mar é dependente das características do substrato geológico, ou seja, dos tipos de sedimentos, do relevo, da dinâmica hídrica superficial e subterrânea, das relações estratigráficas, da evolução geológica (idades) e da evolução dos seus solos.

Em São Paulo, o quadro de degradação desses ecossistemas de planície costeira é preocupante (Souza & Luna, 2008). A Floresta alta de Restinga (FaR) em especial em especial a Floresta baixa de Restinga, estão ameaçadas, até com risco de desaparecimento desta última (Souza, 2006, Souza & Luna, 2008).

Na Região Metropolitana da Baixada Santista (RMBS) esse quadro é ainda pior, restando remanescentes bem preservados dessas fitofisionomias somente nas Bacias dos rios Itaguapé e Guaratuba, em Bertioga, que abrigam um

total de 24,37 km² de FaR e 1,59 km² de FbR (Lopes, 2007). Estas formações florestais ocorrem predominantemente sobre depósitos marinhos holocênicos e pleistocênicos, justamente os terrenos que apresentam as melhores condições geotécnicas para a ocupação antrópica e localização mais próxima das praias (Souza, 2006).

Trabalhos de recuperação de áreas degradadas nos ecossistemas de planície costeira e baixa-média encosta necessitam de melhor compreensão de seu funcionamento, sendo importante conhecer não somente suas características bióticas e abióticas, mas como elas se inter-relacionam (Souza *et al.*, 2008).

No município de Bertioga (RMBS) importantes trabalhos vêm sendo desenvolvidos em extensas áreas ricas ainda bem preservadas cuja riqueza em biodiversidade proporcionou a criação do Parque Estadual da Restinga de Bertioga (Decreto Estadual nº 56.500/2010). Tal riqueza possibilita que sejam encontradas respostas para questões que envolvam a Zona Costeira do Estado de São Paulo e de outros estados.

Rossi (1999) estudou os fatores formadores da paisagem litorânea na Bacia do Rio Guaratuba, onde ele desenvolveu estudos sobre clima, solos, geomorfologia, vegetação, entre outros. Oliveira (2003) investigou a captura do Rio Guaratuba, apresentando uma proposta metodológica para o estudo da evolução do relevo na Serra do Mar. Guedes *et al.* (2006) analisaram a composição florística e a estrutura fitossociológica em dois fragmentos de floresta de restinga localizadas no município de Bertioga. Pinto Sobrinho e Souza (2010) caracterizaram a florística e estrutural de quatro sub-biomas florestais presentes na planície costeira nas Bacias dos Rios Itaguapé e Guaratuba. Souza (2007) realizou o mapeamento detalhado das Unidades Geológico-Geomorfológicas Quaternárias (UQs) de todo o município

de Bertioga, onde identificou e descreveu os processos evolutivos que ocorreram durante o Pleistoceno e o Holoceno, que deram origem a essa planície costeira. Com base nessas unidades foram mapeados os solos (Moreira, 2007; Martins, 2009) e a vegetação (Lopes, 2007). Souza *et al.* (2009) integraram todos esses dados e definiram 17 sub-biomas de planície costeira e baixa–média encosta para as duas bacias.

Todavia, dentre os estudos desenvolvidos em áreas de planície costeira e baixa-média encosta de São Paulo e do Brasil, nota-se carência em análises que foquem a dinâmica hídrica desses ambientes, embora ela seja um dos elementos mais importantes para a manutenção dos ecossistemas costeiros.

No tocante à dinâmica de pluviosidade do Estado de São Paulo existem diversos trabalhos. Sant’Anna Neto (2000) investigou a pluviosidade no Estado de São Paulo para um período de 100 anos, tendo como resultado a regionalização e o mapeamento de áreas a partir dos índices de pluviosidade média. Luz (2010) estudou a precipitação no Estado de São Paulo relacionando-a com o comportamento da temperatura da superfície do mar, no Oceano Atlântico. Galvani & Lima (2006) investigaram a temperatura do e a umidade relativa do ar e a pluviosidade em áreas de manguezais da Barra do Rio Ribeira de Iguape, no Litoral Sul de São Paulo, sendo este o único trabalho disponível que enfocou um ecossistema costeiro em São Paulo.

Por outro lado, estudos sobre Balanço Hídrico Climatológico (BHC) são raros para as áreas costeiras paulistas. Rossi (1999) realizou algumas análises do BHC da Bacia do Rio Guaratuba (Bertioga), a partir de dados de normais climáticas para a região. Armani *et al.* (2007) investigaram o BHC no município de Ubatuba (Litoral Norte), com enfoque nas áreas escarpadas da Serra do Mar.

Estudos a respeito de morfometria fluvial são ainda mais escassos em ambientes sedimentares costeiros. Utilizando o método de amostras circulares, Rossi (1999) analisou a morfometria de três compartimentos geomorfológicos na Bacia do Rio Guaratuba (Bertioga) localizados no planalto, na escarpa e na planície costeira. Souza (2005) analisou as Bacias de drenagem do Litoral Norte paulista, observando que particularidades geomorfológicas associadas à morfometria dessas Bacias condicionam seu escoamento superficial levando a eventos de inundações/enchentes.

Estudos a respeito das águas subterrâneas em ambientes de planície costeira também são raros para o Estado de São Paulo. O Governo do Estado de São Paulo, através do DAEE/IG/IPT/CPRM (2005), elaborou um mapeamento das águas subterrâneas do o Estado de São Paulo (1:1.000.000), onde foi analisado o potencial de abastecimento público desses aquíferos. Para a zona costeira paulista os dados saio escassos tendo em vista que o abastecimento é feito essencialmente com a utilização de recursos hídricos superficiais. Em Bertioga, Moreira (2007) e Souza *et al.* (2009) realizaram um levantamento do nível do lençol freático nas diversas UQs das Bacias dos Rios Itaguapé e Guaratuba, relacionando-o aos sub-biomas remanescentes.

Tendo em vista a carência de pesquisas realizadas em planície costeira que integrem os diferentes níveis do ambiente de forma sistêmica, este trabalho foi desenvolvido tendo como enfoque os processos hídricos que trabalham juntos aos outros fatores constituintes da evolução das UQs presentes na Bacia do Rio Guaratuba, a qual já possui todos os exemplares de UQs presentes na ZC do Estado de São Paulo.

Os estudos realizados aqui estão integrados ao Projeto "Caracterização Ambiental Integrada, Risco Ecológico e Suscetibilidade Ambiental dos Sub-Biomas Remanescentes de Planície Costeira e Baixa-Média Encosta no Município de Bertioga (SP)", financiado com recursos da FAPESP (processo n° 2008/58549-0).

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Levando em consideração que cada Unidade Geológica-Geomorfológica Quaternária (UQ) apresenta características hídricas próprias, que são ordenadas principalmente pelas características físico-químicas inerentes ao substrato e ao regime hídrico atmosférico local, o presente estudo teve como objetivo investigar a dinâmica hídrica superficial e subterrânea (água doce) de cada UQ presente na Bacia Hidrográfica do Rio Guaratuba, no município de Bertioga.

2.2. Objetivos Específicos

A caracterização da dinâmica hídrica das UQs na Bacia do Rio Guaratuba foi realizada através da análise dos seguintes atributos:

- Pluviosidade mensal (P) ao longo da área de estudo, durante o período de 24 meses;
- Temperatura do ar (T) em ambientes naturais e antropizados da área de estudo, durante o período de 24 meses;
- Balaço Hídrico Climatológico normal, e sequencial para o período de 24 meses;
- Individualização da dinâmica do nível do lençol freático de cada UQ, analisando também seus principais aspectos físicos;

- Correlação dos dados obtidos e estabelecimento do regime hídrico de cada UQ presente na Bacia Hidrográfica do Rio Guaratuba.

3. ÁREA DE ESTUDO

3.1. Localização

O município de Bertioga está situado na Região Metropolitana da Baixada Santista (RMBS), localizada na parte central do litoral do Estado de São Paulo. Bertioga é o município mais jovem da RMBS, tendo se emancipado de Santos em 1992. Posicionada no extremo norte da RMBS, O município possui 482 km², 20,3% da RMBS. Cerca de 85% de seu território é formado por áreas de preservação permanente (Lichti, 2002 *apud* Moreira, 2007).

Em 2010, por meio do Decreto Estadual nº 56.500/2010 (publicado no D.O. de 10/12/2010), Bertioga passou a abrigar em seu território o “Parque Estadual Restinga de Bertioga”, que possui área de 9.312,32 ha. Esta unidade de conservação integral abrange grande parte das Bacias dos Rios Itaguapé e Guaratuba e parte leste da Bacia do Rio Itapanhaú.

A Bacia do Rio Guaratuba localiza-se entre o extremo Leste de Bertioga e o extremo oeste de São Sebastião, englobando as praias e as planícies costeiras de Guaratuba (Bertioga) e Boracéia (Bertioga/São Sebastião) (Figura 1). Possui área total de 125,35 km² distribuídos entre a escarpa do Planalto Atlântico (Serra do Mar) (32,95 km²) e a planície costeira – praias (92,40 km²).

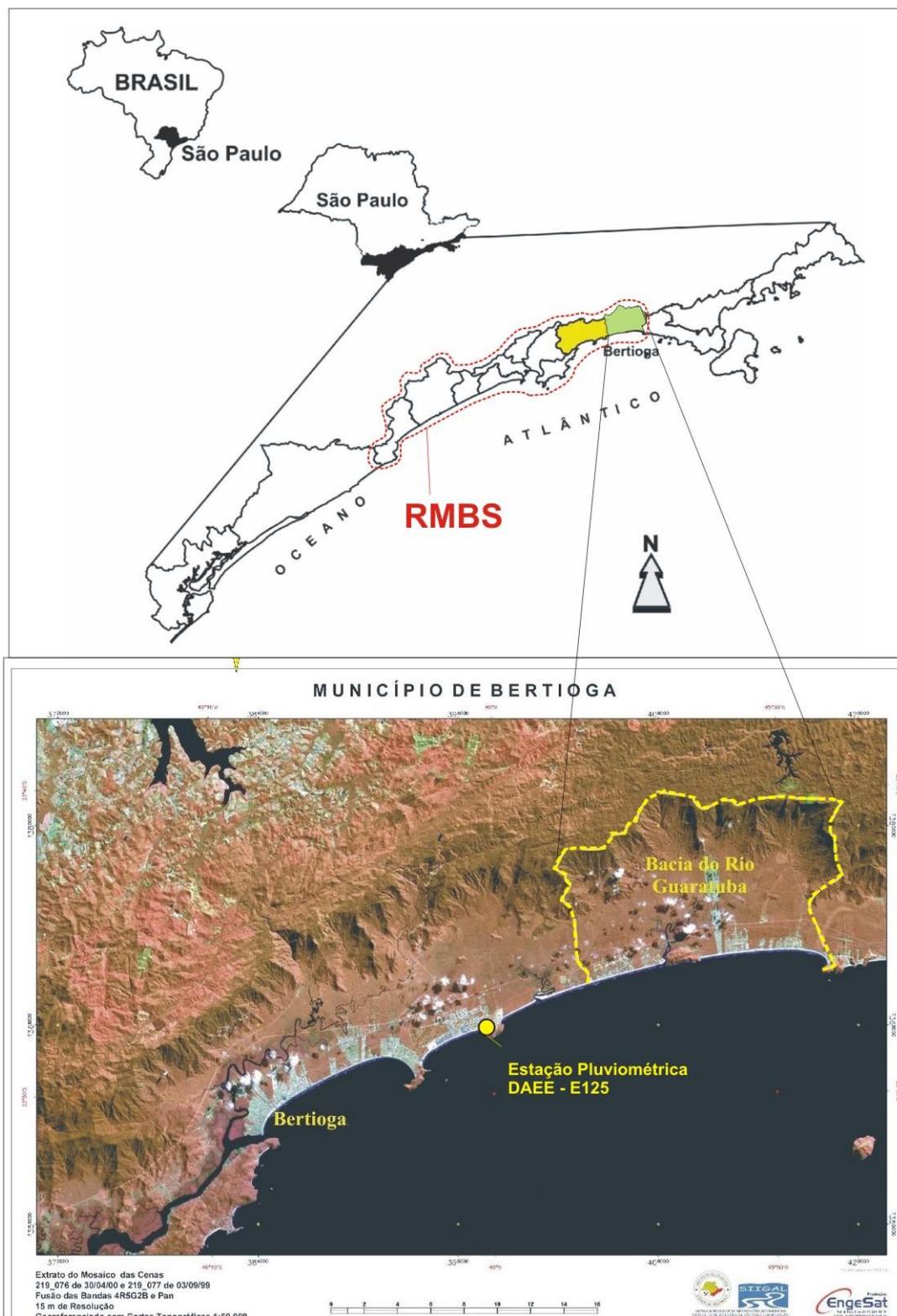


Figura1: Localização do município de Bertiooga e da Bacia do Rio Guaratuba.

3.2. Aspectos Sociais

Bertioga possui população residente fixa de apenas 49.684 habitantes, o que corresponde a 3% dos 1.682.435 habitantes da RMBS (SEADE, 2011). A densidade demográfica também está abaixo da RMBS, sendo de 101,05 habitantes/km² contra 694,42 habitantes/km² na RMBS. Por outro lado, a Taxa Geométrica de Crescimento Anual da População de Bertioga foi 4,77%, entre 2000 e 2010, superior ao perfil regional (1,20%).

Os indicadores de infraestrutura urbana para o município são todos inferiores ao do perfil regional. O pior deles é o esgotamento sanitário, pois apenas 19,49% das residências recebem este atendimento.

A taxa de analfabetismo da população de 15 anos é de 8,26%, portanto superior à da RMBS, com 6,27%. A população entre 18 e 24 anos que concluiu o Ensino Médio é de apenas 24,38%, contra 39,14% na RMBS.

O principal setor da economia de Bertioga é o de serviços, responsável por 86,73% do PIB do município, enquanto que a Indústria é responsável por 12,50% e a agropecuária por 0,76%. O PIB total é 542,95 milhões de reais (SEADE, 2011).

3.3. Clima

Segundo a classificação de Köppen, o clima do litoral do Estado de São Paulo é do tipo Af, ou seja, tropical úmido sem estação seca definida (James, 1922).

As características do clima da região são dadas pela forte influência exercida pelos sistemas atlânticos polares e tropicais. A massa Tropical Atlântica, que atua sobre a região ao longo do ano, é caracterizada por ser uma massa quente e úmida. Esta massa penetra no continente segundo a direção E – W, sendo

significativamente afetada pelo confronto com as massas de ar Polar e com as massas de ar Continental Tropical e Continental Equatorial (PRIMAC, 2005).

Saindo das latitudes mais altas do Hemisfério Sul, as massas de ar Polar atingem a Região Sudeste do Brasil ao longo de todo o ano, trazendo temperaturas muito baixas e muita umidade (PRIMAC, 2005). No inverno essas massas mantêm as temperaturas baixas, enquanto no verão, o choque entre a massa Polar e a Tropical Atlântica, adicionado a fatores topoclimáticos da Serra do Mar, provocam muita instabilidade e elevados índices pluviométricos diários com chuvas torrenciais (PRIMAC, 2005).

Na área central do Estado de São Paulo, onde se situa o município de Bertioga, ocorre a transição dos climas zonais e regionais (Sant'Anna Neto, 2000). Devido a esta condição e à marcante influência orográfica da Serra do Mar, neste setor ocorre o maior número de choques entre os sistemas tropicais e extratropicais, tornando a região a mais chuvosa do Estado de São Paulo, com totais de chuva anuais que variam entre 2000 e 3000 mm (Sant'Anna Neto, 2000). Atualmente é a 2ª região mais chuvosa do Brasil, pois a cidade de Calçoene (Amapá) é atualmente, a mais chuvosa.

Segundo os dados disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET (1992) as normais de temperatura entre 1961 e 1990 obtidas para a Base Aérea de Santos mostram que as médias mensais mais altas da região ocorrem nos meses de novembro a abril, com valores entre 24,1°C e 22,5°C, e as mais baixas ocorrem nos meses de maio a outubro com valores entre 16,9°C e 21,3°C. As menores temperaturas ocorrem em julho e as mais elevadas em março (Figura 2).

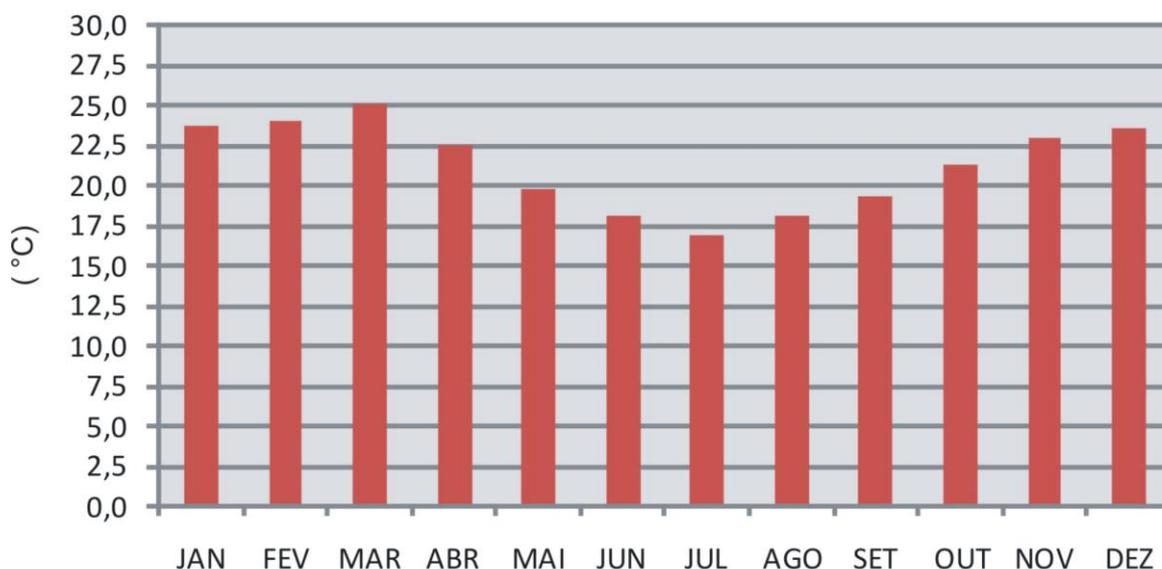


Figura 2: Temperatura média registrada na Base Aérea de Santos (Município do Guarujá) para a com série histórica de 1961-1990 (fonte: INMET, 1992).

Os dados de chuva acumulada registrados no posto pluviométrico de São Lourenço do DAEE (prefixo E125, Latitude 23°48' e Longitude 46°00'), localizado na borda leste da Bacia do Rio Itapanhaú (Bertioga) (Figura 01), mostra que na série histórica de 1970-1994, a maior pluviosidade média ocorre no mês de janeiro, com até 283,68 mm, que se sustenta em valores elevados até abril, quando começa a baixar atingindo menor valor médio em agosto (77,85 mm), e tornando a subir entre a primavera e o verão (Figura 3).

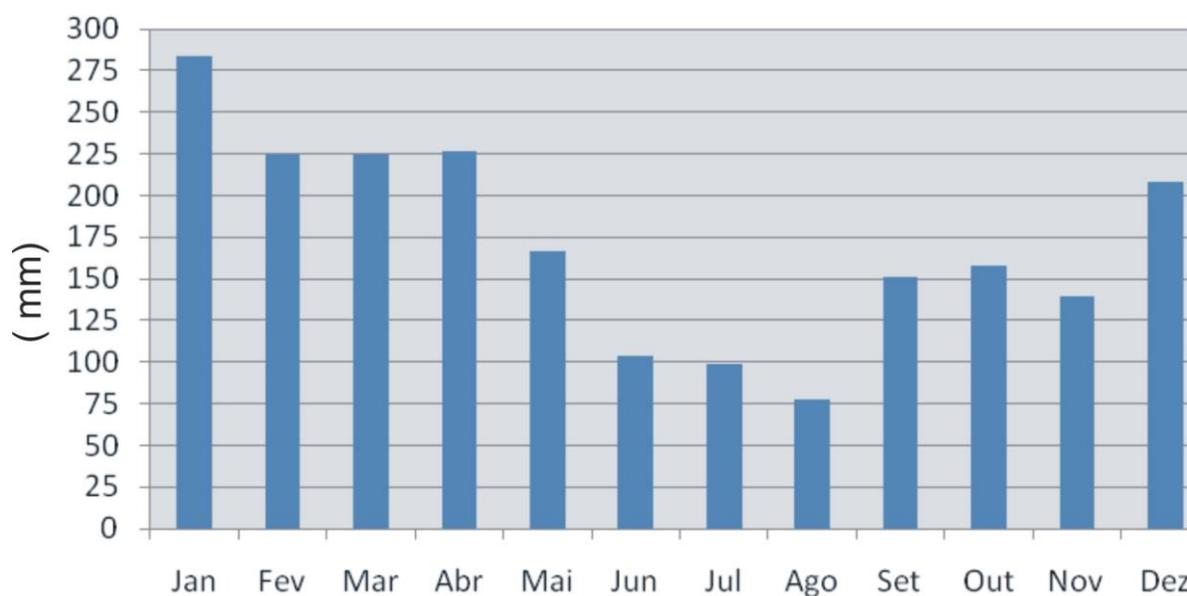


Figura 3: Pluviosidade média registrada no posto E2-125, no município de Bertioga, para a série histórica de 1970-1994 (fonte: DAEE, 2009).

3.4. Geologia e Geomorfologia

A Bacia do Rio Guaratuba, assim como todas as Bacias hidrográficas do litoral paulista (exceto a Bacia do Rio Ribeira de Iguape), é drenada através de dois compartimentos geomorfológicos distintos: as escarpas do Planalto Atlântico (Serra do Mar) e a planície costeira - praias. Em geral, as cabeceiras dos rios têm origem no embasamento ígneo-metamórfico Pré-Cambriano/Mesozóico da Serra do Mar, que apresentam um relevo de rugosidade e amplitude elevadas e um padrão de drenagem bastante denso, com rios curtos acomodados sobre as estruturas geológicas. Após deixarem as escarpas, os rios penetram numa planície costeira de declividades muito baixas até nula, e formada por depósitos quaternários de origem marinha, fluvial, coluvionar, lagunar – estuarina, paludial e localmente eólica (Souza, 2007).

De acordo com Souza (2007), na Bacia do Rio Guaratuba ocorre as seguintes unidades quaternárias (UQs): Depósitos Praiais Atuais (**Pr**); Depósitos de Planície de Maré Atuais (**LOL**); Depósitos Fluviais (planície de inundação, depósitos de leito, barras arenosas e terraços fluviais baixos) Holocênicos a Atuais (**LHF**); Depósitos Mistos não individualizados formados por Depósitos Fluviais e Colúvios de Baixada Holocênicos a Atuais (**LMP**); Depósitos Paleolagunares-Estuarinos Holocênicos, Lacustres e Colúvios de Baixada Atuais (**LCD**); Cordões Litorâneos Holocênicos (**LHTb**); Terraços Marinheiros Holocênicos (**LHTa**); Terraços Marinheiros baixos Pleistocênicos (**LPTb**); Terraços Marinheiros altos Pleistocênicos (**LPTa**); Terraços Fluviais (planície de inundação, depósitos de leito e barras fluviais) altos Pleistocênicos (**LPF**); Complexo sedimentar formado pela associação de restos de Terraços Marinheiros Altos Pleistocênicos e Depósitos Paleolagunares-Estuarinos Holocênicos (**Cx-LPTa/LCD**); e Depósitos de Encosta (Rampas de Colúvio, Tálus e Leques Aluviais) Pleistocênicos a Atuais (**LCR**) (Figura 4).

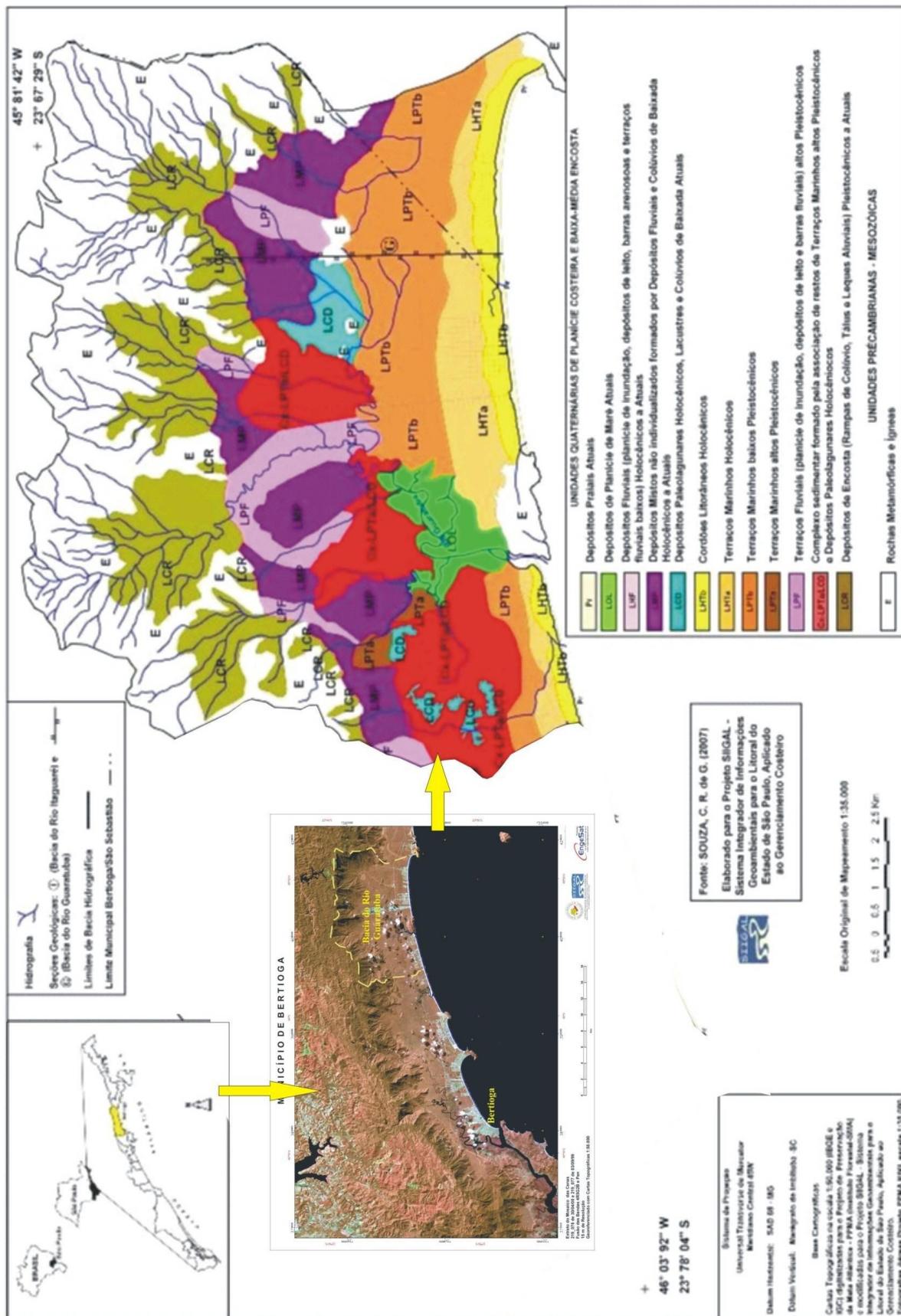


Figura 4: Mapa das Unidades Quaternárias de Planície Costeira e Baixa-Média Encosta da Bacia do Rio Guaratuba (Souza, 2007).

Estas UQs tiveram sua formação a partir de mecanismos que envolveram as variações do nível relativo do mar (NM) (eventos transgressivos e regressivos), a ação de ondas, ventos, ciclo das marés, aportes de sedimentos, variação da morfodinâmica praial e declividade da plataforma continental adjacente. A erosão lateral e o alçamento dos cordões litorâneos ao longo do tempo resultaram na formação dos terraços marinhos. A erosão desses depósitos marinhos e associações com formação de outros ambientes de sedimentação continental e transicional deram origem à atual planície costeira (Souza *et al.* 2008).

3.5. Águas Subterrâneas

Levantamentos prévios do nível do lençol freático (NA) em cada UQ foram realizados Souza *et al.* (2009) com dados coletados entre junho-agosto de 2006 (estação menos chuvosa), e cujos resultados estão sumarizados na tabela 1.

De acordo com esses estudos, os NA mais profundos (em geral $\geq 1,20$ m) ocorrem nos terrenos mais arenosos e como: LPTa (NA $> 3,0$ m), LPF (0,50-1,50 m), LCR ($\geq 2,0$ m), LPTb, LHTa, LHTb (NA $>$) e os NA mais rasos e superficiais estão nos terrenos pelíticos de LCD variando de 0 a 0,20 m de profundidade.

Tabela 1: Síntese das características físicas das UQ de planície costeira e baixa-média encosta no município de Bertioxa (Souza *et al.*, 2009).

UQ	CARACTERÍSTICAS LITOLÓGICAS	CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS	N.A. (Estação Seca)
LHF	Depósitos fluviais holocênicos a atuais constituídos de sedimentos arenosos, siltico-arenosos e cascalhos.	Planície de inundação, depósitos de leito e terraços fluviais baixos.	0,50 - 1,20 m.
LMP	Depósitos mistos não individualizados formados por sedimentos aluviais e colúvios de baixada, de idade holocênica a atual.	Planície sedimentar de declividade muito baixa localizada ao fundo da planície costeira.	0,20 - 1,10 m.
LCD	Depósitos paleolagunares a lacustres pelíticos (podendo estar recobertos por colúvios de baixada e depósitos aluviais), constituídos de sedimentos pelítico-orgânicos a areno-siltico-argilosos, de idade holocênica a atual. Complexo formado por depressões paleolagunares que entremeiam terraços marinhos pleistocênicos mais altos e muito erodidos (Cx-LPTa).	Depressões paleolagunares holocênicas amplas e colmatadas localizadas no centro das planícies costeiras; pequenas depressões paleolagunares entremeando restos de terraços marinhos pleistocênicos mais altos (LPTa), formando um complexo (Cx-LPTa/LCD) não individualizável na escala de mapeamento.	Aflorante - 0,20 m.
Cx-LCD			
LHTb	Depósitos marinhos constituídos de areias muito finas a finas de idade holocênica, às vezes recobertos por depósitos dunares holocênicos a atuais.	Cordões litorâneos (bastante ondulados).	0,40 - 1,20 m.
LHTa	Depósitos marinhos constituídos de areias muito finas a finas de idade holocênica, às vezes recobertos por depósitos dunares holocênicos.	Terraços marinhos mais baixos e mais próximos à linha de costa (suavemente ondulados).	0,50 - 1,50 m.
LPTb	Depósitos marinhos constituídos de areias muito finas a finas, de idade pleistocênica mais jovem, podendo estar recobertos por depósitos dunares holocênicos.	Terraços marinhos intermediários (planos localmente ondulados).	0,70 - 2,70 m.
LPTa	Depósitos marinhos constituídos de areias muito finas a finas de idade pleistocênica mais antiga, podendo estar recobertos por depósitos dunares.	Terraços marinhos mais elevados e mais distais da linha de costa, formando montículos isolados, planos e pouco extensos; em geral entremeados por pequenas depressões paleolagunares, formando um complexo (Cx-LPTa/LCD) não individualizável na escala de mapeamento.	1,0 - > 3,0 m.
Cx-LPTa	Complexo formado por LPTa erodido e entremeado por depósitos paleolagunares holocênicos (Cx-LCD).		
LPF	Depósitos fluviais constituídos de sedimentos arenosos, silticoarenosos e cascalhos, de idade pleistocênica.	Terraços fluviais alçados (planos e amplos) e sempre em associação com LPTa e Cx-LPTa.	0,50 - 1,50 m.
LCR	Depósitos de encosta com sedimentos coluviais, de tálus e de leques aluviais, de idade pleistocênica a atual, constituídos de sedimentos de matriz areno-siltico-argilosa com grânulos dispersos até matacões.	Rampas de baixa declividade localizadas na baixa encosta, às vezes adentrando a planície costeira (leques aluviais).	≥ 2,0 m.

3.6. Fitofisionomias

A área de estudo é recoberta por diferentes fitofisionomias de planície costeira e baixa-média encosta bem preservadas e/ou em estado nativo (Lopez, 2007; Souza *et al.*, 2009; Pinto Sobrinho & Souza, 2010).

Rossi (1999) considerou tal vegetação como um complexo de restinga, classificando as diferentes formações vegetais a partir de aspectos morfológicos, como altura da mata e tipo de copa, pela presença de corpos d'água associados à vegetação e pela associação a feições sedimentares, como cordões litorâneos.

Posteriormente, Lopes (2007) apresentou um mapeamento da vegetação das Bacias do Rio Itaguapé e Guaratuba, baseado nas fitofisionomias descritas na Resolução CONAMA 07/1996 (descreve os estágios sucessionais da vegetação de Restinga). As formações identificadas foram: Floresta Baixa de Restinga (**FbR**), Floresta Alta de Restinga (**FaR**), Floresta Paludosa (**Fpa**), Floresta Alta de Restinga Úmida (**FaRu** – tipo novo descrito por Souza, 2006 para o Litoral Norte de São Paulo), Floresta Aluvial (**FAL**) e Floresta de Transição Restinga-Encosta (**FTr**).

3.7. Ecologia

De acordo com Souza *et al.* (1997), Souza (2006), Souza & Luna (2008) e Souza *et al.* (2009), a vegetação de planície costeira possui forte relação com o substrato sedimentar (geologia, geomorfologia e pedologia).

Em Bertioga essa relação foi descrita a partir de uma associação denominada por Souza *et al.* (2009) de sub-bioma de planície costeira e baixa-média encosta (Figura 5). Na Bacia do Rio Guaratuba estão presentes os seguintes sub-biomas: **BMg** – Manguezal; **BFbR** – Floresta Baixa de Restinga sobre Cordões Litorâneos; **BFAL** – Floresta Aluvial Sobre Terraços Fluviais Pleistocênicos; **BFaR1**

– Floresta Alta de Restinga Sobre Cordões Litorâneos; **BFaR2** - Floresta Alta de Restinga Sobre Terraços Marinheiros Holocênicos; **BFaR3** - Floresta Alta de Restinga Sobre Terraços Marinheiros Baixos Pleistocênicos; **BFaR4** - Floresta Alta de Restinga Sobre Terraços Marinheiros Altos Pleistocênicos; **BFaRu1** - Floresta Alta de Restinga Úmida Sobre Depressões Paleolagunares Rasas Holocênicas; **BCX – FaR/FaRu** - Associação de um complexo de FaR/FaRu sobre um complexo de LPTa/LCD; **BFTr1** – Floresta de Transição Restinga-Encosta Sobre Depósitos Mistos Holocênicos a Atuais; **BFTr2** – Floresta de Transição Restinga-Encosta Sobre Depósitos de Encosta Pleistocênicos a Atuais.

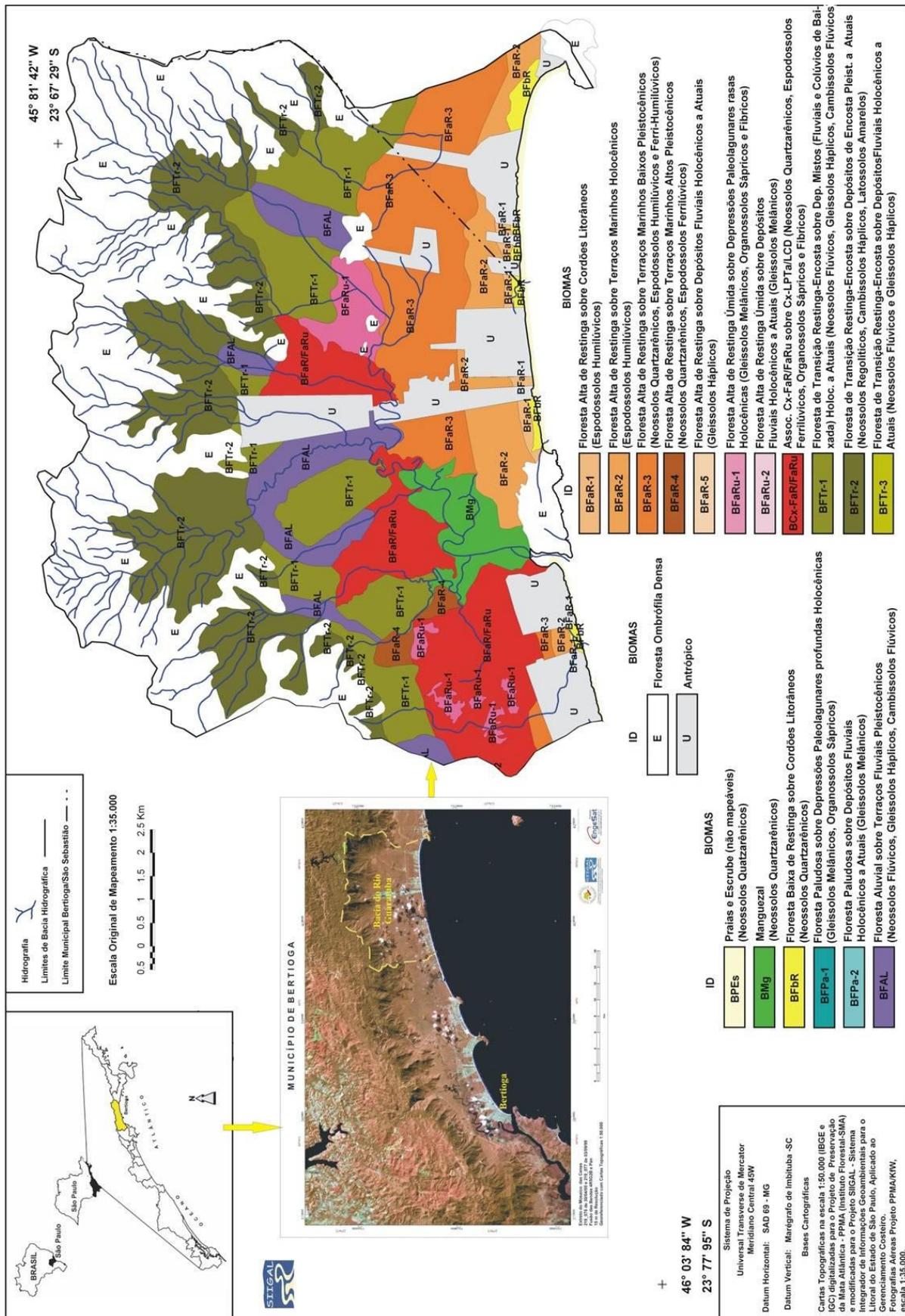


Figura 5: Micro-biomas de planície costeira e baixa-média encosta nas bacias dos rios Itaguari e Guaratuba (Souza *et al.*, 2009).

4. MATERIAIS E METODOLAGIA

O ciclo da água na crosta terrestre possui um percurso complexo parcialmente condicionado pelo ciclo da atmosfera, que é um importante veículo de transporte da água. Este ciclo é possível graças à energia solar, cujo calor possibilita a evaporação da água dos oceanos, rios, lagos, e outros corpos d'água, e seu retorno em forma de chuva (Leinz, 1985)

Ao caírem sobre a superfície de um terreno, as água da chuva podem se infiltrar no solo ou escoar superficialmente, até a rede de drenagem parte de toda essa água é evaporada, retornando à atmosfera, ou è absorvida pela vegetação e outros seres vivos.

Neste trabalho, a dinâmica hídrica dos ambientes sedimentares de planície costeira e baixa encosta foi analisada com base na clássica Teoria dos Sistemas (e.g. Christofolletti, 1980).

Assim, a pluviosidade corresponde ao “*Input* do Sistema”. A partir de processos de escoamento superficial e infiltração de água no solo a pluviosidade alimenta a Rede de Drenagem superficial e controla os movimentos verticais do nível do lençol freático. Dessa complexa interação, resulta o Balanço Hídrico regional (Figura 6).

Considerando os fluxos de material e energia do Balanço Hídrico Regional, para a caracterização da dinâmica hídrica das UQs na Bacia do Rio Guaratuba, foi estabelecido o estudo individualizado de cada componente do sistema hídrico, a saber:

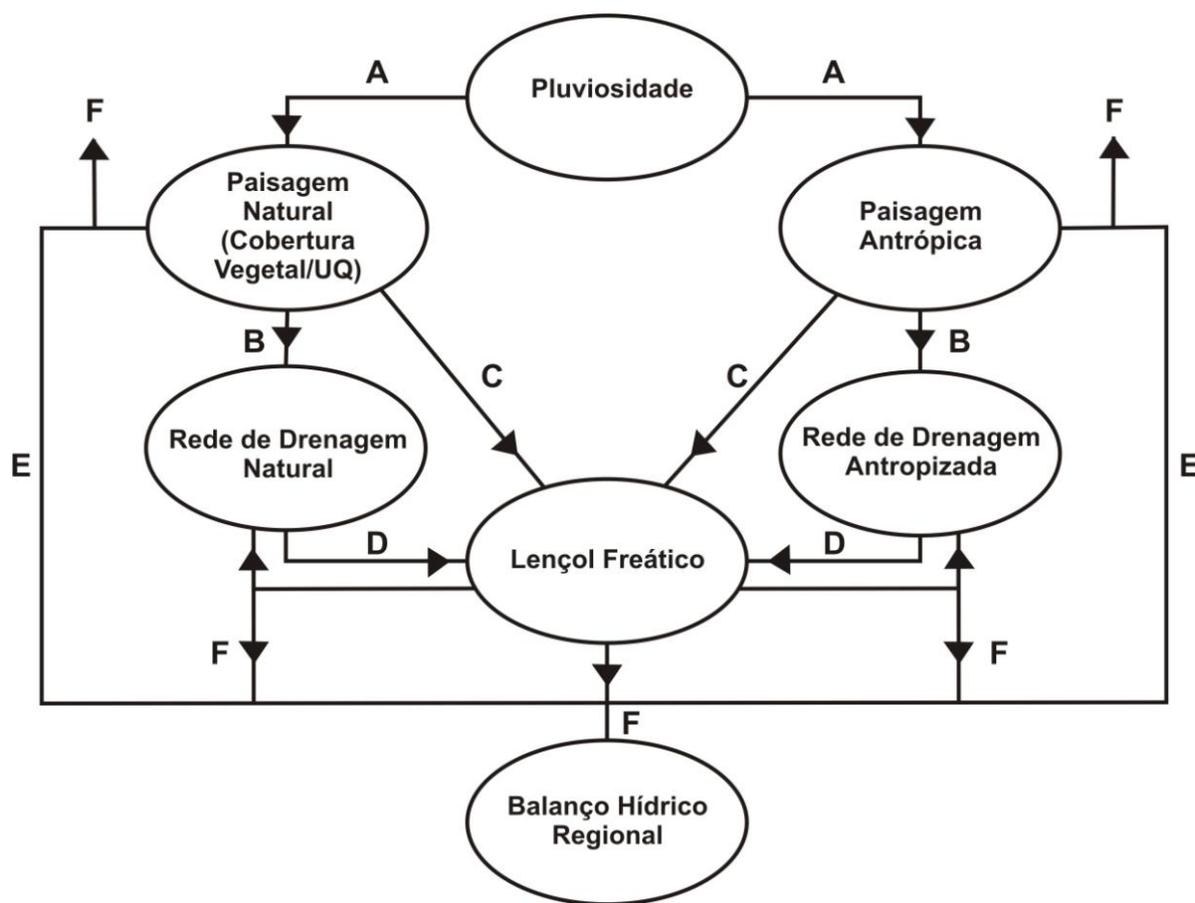


Figura 6: Fluxograma representativo do sistema hidrológico estudado neste trabalho. Onde A é a precipitação (*Input*), B é o escoamento superficial, C é a infiltração da água no solo, D são as recargas (rede de drenagem/lençol freático), E são os processos variados e complexos ligados à utilização da água doce pelos seres vivos nos ambientes naturais e antropizados, F são as saídas de água do sistema (*outputs*) por evaporação, evapotranspiração consumo, descarga para o oceano.

4.1. Caracterização Climática

4.1.1. Pluviosidade

As regiões tropicais têm as chuvas (precipitação pluvial) como sua principal forma de retorno da água da atmosfera, completando o ciclo hidrológico após os processos de evaporação e condensação (Pereira *et al.*, 2002). No Brasil não é diferente, pois ocorre como a principal forma de precipitação, com exceções às regiões serranas dos Estados de Santa Catarina e do Rio Grande do Sul, onde

pode nevar em ocasiões esporádicas de acordo com condições atmosféricas específicas (Tavares, 2009).

Além disso, a variabilidade climática, com destaque à quantidade e a distribuição de chuvas que ocorrem durante o ano, é o principal fator condicionante da fisionomia vegetal de uma região (Walter, 1986; Pianka, 1994; Ricklefs, 2003; Dajoz, 2005).

A distribuição pluviométrica também é parte integrante do sistema geomorfológico, pois afeta as características geomorfológicas (Christofoletti, 1980), e pedológicas (Kiehl, 1979 *apud* Moreira, 2007). Por exemplo, onde a taxa de precipitação é alta ocorrem, em geral, solos com reação ácida devido à lixiviação contínua que remove as bases trocáveis do complexo coloidal dos horizontes superiores do solo, deixando em substituição íons de hidrogênio.

A melhor forma para estudar a distribuição de chuvas em uma área é o monitoramento por meio de pluviômetros. Na área de estudo, foram instalados 7 pluviômetros seguindo um transecto, aproximadamente perpendicular à linha de costa, entre a praia e a baixa encosta da Serra do Mar, de uma maneira que representar todas as UQs. Assim, os aparelhos foram instalados ao longo do canteiro central do Condomínio Morada da Praia, localizado na Praia da Boracéia (Figura 7), Assim, a correspondência aproximada entre os pluviômetros e as faixas de ocorrência das UQs é a seguinte: Pluv 1 – LHTb, Pluv 2 – LHTa, Pluv 3 – transição LHTa/LPTb, Pluv 4 – transição LPTb/CxLPTa/LCD, Pluv 5 - CxLPTa/LCD, Pluv 6 – LMP e LPF, e Pluv 7 LCR.

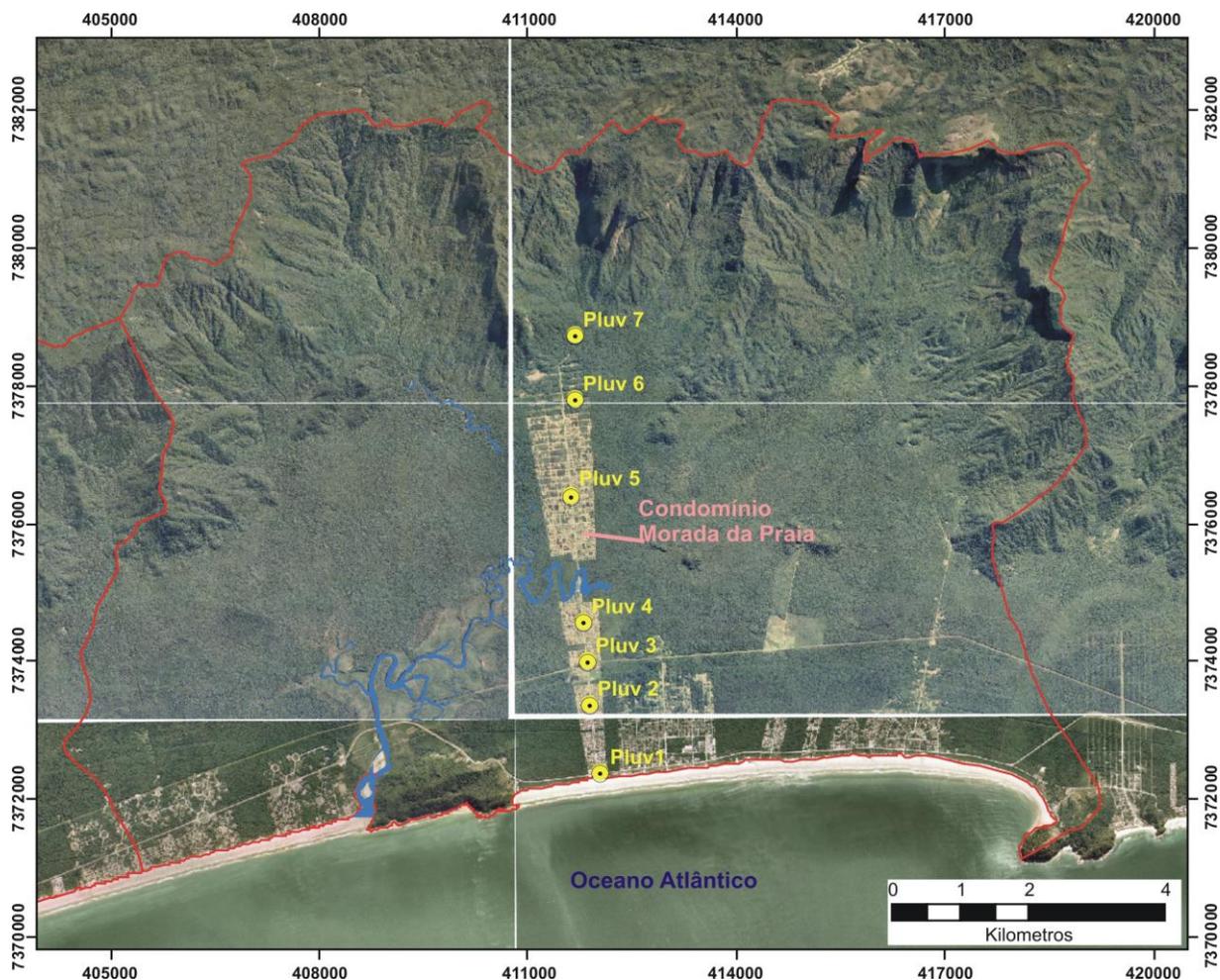


Figura 7: Localização dos pluviômetros (Pluv) no Condomínio Morada da Praia (base: ortofotorretificada de 2001 (Instituto Florestal, PPMA/KfW)).

Os pluviômetros utilizados são do fabricante TFA Germany; cada aparelho é constituído por um sensor ambiental com transmissão remota de medições de chuva por sinal 868 Mhz, e um receptor digital sem fio (Figura 8).

Os sensores ambientais foram fixados com arame galvanizado sobre um tubo de PVC de 100 polegadas de diâmetro e 2 m de comprimento, tampado nas duas extremidades e enterrado a 0,50 m de profundidade, de modo a posicionar o sensor a 1,5 m de altura do solo (Figura 8). O receptor digital do sensor foi colocado ao lado, no interior de outro tubo de PVC de 75 polegadas de diâmetro e 1,5 m de altura e também enterrado a 0,50 m de profundidade, tampado nas duas extremidades.



Figura 8: Sensor ambiental com transmissão remota de medições de chuva por sinal 868 Mhz; à esquerda, receptor digital sem fio.

No interior do tubo, o receptor foi acomodado sobre um tubo menor, de três quartos, no qual foram fixados saquinhos de papel-filtro contendo sílica gel para evitar a umidade, substituídos sempre que saturados de água. Todos os pluviômetros foram posicionados com visada lateral de aproximadamente 45° em relação à árvore mais alta ao seu redor (Pereira *et al.*, 2002). Foram também anexadas placas de identificação (Figura 9), com descrição do equipamento, do projeto, da equipe e as instituições envolvidas, bem como o número do processo Fapesp e os logotipos da USP e da Fapesp. A verticalidade do tubo-guia foi mensalmente verificada por meio de um medidor de nível triplo e, sempre que necessária corrigida.



Figura 9: Pluviômetro em atividade no perfil Morada da Praia (Pluv-6). O sensor ambiental está sobre o tubo maior, à direita, e o receptor digital encontra-se no interior do tubo menor. Notar a placa identificadora em azul.

O pluviômetro 7 foi fixado sobre o muro da barragem de captação de água do Condomínio Morada da Praia, pois não foi possível encontrar um ponto com visada lateral satisfatória (Figura 10).



Figura 10: (esquerda). Sensor ambiental fixado sobre o muro da barragem de captação de água do Condomínio Morada da Praia (Pluv-7).

Os índices de chuva registrados nos pluviômetros foram computados em função da variação do volume de chuva mensal, ocorrida entre julho de 2009 e agosto de 2011. Os dados foram tratados segundo faixas de abrangência das UQs. Os resultados foram correlacionados com a análise sinótica mensal obtida junto ao banco de dados do INPE/CPTEC (www.inpe.br)

4.1.2 Temperatura Média e Umidade Relativa do Ar

Os dados de Temperatura média do ar (T) e Umidade Relativa do ar (UR) foram coletados mensalmente em 42 pontos junto aos pluviômetros e os piezômetros sendo representativos de todos os tipos de ambientes naturais e antrópicos presentes na área de estudo (Figura 7).

Inicialmente e com o objetivo de estabelecer comparações entre os métodos, foram realizadas medições por meio de dois equipamentos: de um Termo Higrômetro digital da marca Incoterm (faixa de T interna: $-10+60^{\circ}\text{C}$, faixa de T externa: de $50+70^{\circ}\text{C}$, faixa de UR int./ext de 10 a 99%) (Figura 11a), posicionado a cerca de 1,5 m do chão; e um psicrometro de ventilação forçada da marca Unoterm (com escala: $-14\ 15+50: 0,2^{\circ}\text{C}$ e divisão: $0,2^{\circ}\text{C}$) (Figura 11b).



Figura 11: (a) Medida de T e %UR utilizando o Termo Higrômetro. (b) Aferição de T e %UR do ar com o uso de Psicrômetro.

Após vários testes, verificou-se que as diferenças entre os aparelhos eram mínimas, conforme demonstra a figuras 12. Como o termohigrômetro se destacou pela prática do uso, opstou-se pela sua utilização como equipamento padrão.

Os resultados foram integrados aos dados de chuva e correlacionados com a análise sinótica mensal obtida junto ao banco de dados do INPE/CPTEC (www.inpe.br).

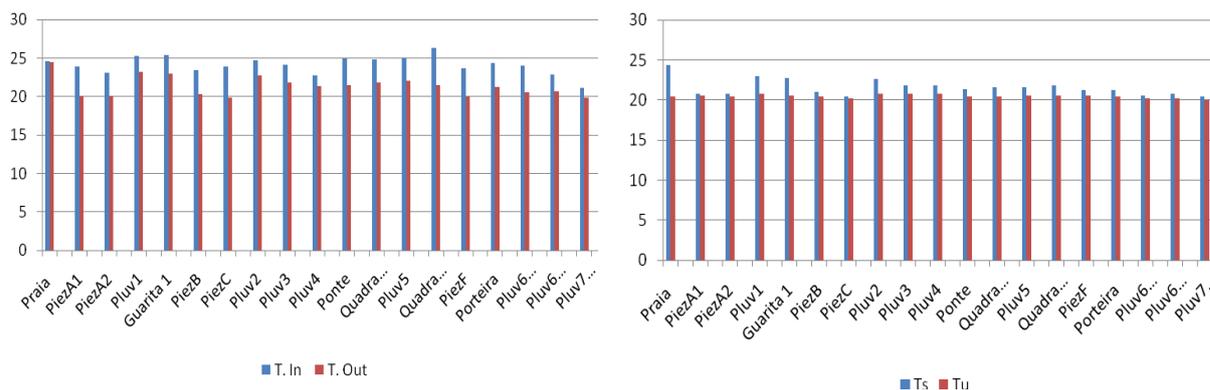


Figura 12: Exemplo de comparação de dados de Temperatura média do ar medida no mês de agosto de 2009, em vários pontos Termohigrômetro digital. (a). (b) Psicrômetros de ventilação forçada (Pereira & Souza, 2010).

4.1.3. Balanço Hídrico Climatológico (BHC)

O Balanço Hídrico Climático (BHC) é a somatória da quantidade de água que entra e sai de certa porção do solo em um determinado intervalo de tempo, e o resultado é a quantidade líquida de água que nele permanece retida, indicando se há déficit ou excedente hídrico (Ometto, 1981; Galvani, 2004; Pereira, 2005; Tomasella & Rossato, 2005),

O BHC foi desenvolvido para determinar o regime hídrico de um local sendo uma das várias maneiras de se monitorar a variação temporal do armazenamento de água no solo (Thorntwaite & Mather, 1955). Segundo esses autores, para a obtenção do BHC deve-se inicialmente definir o suprimento natural de água no solo, pela chuva (P), e da demanda atmosférica, pela evapotranspiração potencial (ETP). A partir desses parâmetros, o balanço hídrico fornece estimativas da evapotranspiração real (ETR), da deficiência hídrica (DEF), do excedente hídrico (EXC) e do armazenamento de água no solo (ARM), podendo ser elaborado desde a escala diária até a mensal.

4.1.3.1. Estimativa da evapotranspiração

O cálculo da evapotranspiração foi realizado através do método de Camargo (1971). Este método foi adotado por ser aplicado a regiões de clima tropical reproduzir satisfatoriamente os valores estimados pela fórmula de Thornthwaite, e por mais simplificado (Pereira, *et al.*, 2002).

A evapotranspiração é expressa pela fórmula:

$$(Eq\ 01) \quad ETP = 0,01 * Q_0 * T * ND$$

Onde: ETP é a evapotranspiração potencial; Q_0 é a irradiância solar global extraterrestre (em milímetros); T é temperatura média do ar ($^{\circ}C$); e ND é o número de dias do período estudado.

Como a ETP é a quantidade de água utilizada por uma área com grama, então foi utilizado o coeficiente de cultura (K_c) para representar a área foliar de uma cultura arbórea perene, sendo:

$$(Eq\ 02) \quad Etc = K_c * ETP$$

Onde Etc é a evapotranspiração máxima de cultura, ou simplesmente, evapotranspiração de cultura.

4.1.3.2. BHC Normal

O BHC normal da bacia do Rio Guaratuba foi obtido a partir de dados mensais de chuva de uma série histórica entre 1970 a 1994, registrada no posto E2-125 do DAEE, localizado no Município de Bertioga-SP em área de planície costeira

sobre Terraço Marinho Holocênico, com cota de 3 m, (latitude 23°48' e longitude 46°00') (DAEE: www.daee.sp.gov.br).

Para o cálculo da evapotranspiração foram utilizados dados de temperatura média da série histórica de 1961 a 1990 obtidos na estação meteorológica 838180, que também está em cota de 3 m (latitude -23° 39' e longitude -46.30') Se localiza na Base Aérea de Santos, no município do Guarujá.

A elaboração do BHC depende, primeiramente, da seleção do tipo de CAD, que representa a capacidade de água disponível, ou seja, a lâmina d'água correspondente ao intervalo de umidade do solo entre a capacidade de campo (CC%) e o ponto de murcha permanente (PMP%). Independente do tipo de solo, o valor da CAD pode variar entre 25 e 50 mm para hortaliças, 75 e 100 mm para culturas anuais, entre 100 e 125 mm para culturas perenes, e a partir de 150 mm para espécies florestais (e.g. Pereira *et al.*, 2002).. Como a área de estudo é ocupada por extensa vegetação arbórea, foi adotada a CAD de 150 mm, referente à espécies florestais.

4.1.3.3. BHC Sequencial

Para o BHC seqüencial da Bacia do Rio Guaratuba foi utilizada a média dos registros de chuva obtidos nos pluviômetros distribuídos ao longo da bacia do Rio Guaratuba (Figura 7), entre os meses de julho de 2009 e agosto de 2011.

Para o cálculo da evapotranspiração foram utilizados os dados de temperatura média do ar coletados durante o mesmo período. Foi adotada uma CAD de 150 mm para espécies florestais (e.g. Pereira *et al.*, 2002).

4.2. Caracterização do Nível do Lençol Freático

Quando as águas de precipitação atmosférica se infiltram no solo, passam por uma parte do terreno denominada zona subsaturada, ou zona de aeração, onde, os poros são preenchidos parcialmente por água e por ar. (Leinz,1985; Iritani & Ezaki, 2008). Às águas contidas nesta zona recebem nome de águas edáficas (águas de solo). Sua presença ocorre de três maneiras: água gravitativa, que escoar através da força gravitacional, água pelicular, aderida às partículas do solo, e água capilar, retida em interstícios microscópicos (Leinz, 1985).

O restante da água se mantém em movimento descendente, através da força gravitacional, até a zona saturada (Leinz,1985; Iritani & Ezaki, 2008). O limite entre a zona subsaturada e a saturada é formado pela superfície piezométrica, também chamada de lençol freático ou nível hidrostático, na qual os poros estão preenchidos por água pelo efeito da capilaridade.

De acordo com Tomasella & Rossato (2005), no BHC de uma área considera-se que o armazenamento de água no solo varia entre o ponto de murcha e a capacidade de campo. Quando o solo armazena a máxima quantidade de água disponível para as plantas, diz-se que o solo se encontra em capacidade de campo (CC). O ponto de murcha permanente (PMP) é o teor mínimo de água de um solo no qual as folhas de uma planta que nele cresce atingem um murchamento irreversível (Oliveira *et al.*, 2001; Maia *et al.*,2005). Ainda segundo estes autores, a quantidade de água disponível no solo (CC ou PMP) é estimada a partir de funções de pedotransferência, ou seja, a capacidade de infiltração desse solo. Uma função de pedotransferência é aquela que tem como argumento dados básicos que descrevem o solo (por exemplo, o percentual de areia, de silte, de argila, o conteúdo

de carbono, de matéria orgânica e outros), gerando como resultado a retenção de água no solo.

Assim, para se obter o nível do lençol freático (NA) no solo/sedimento de cada UQ foram instalados 9 piezômetros. O período de coleta de dados também foi de 24 meses, entre julho de 2009 e agosto de 2011 (Figura 13).

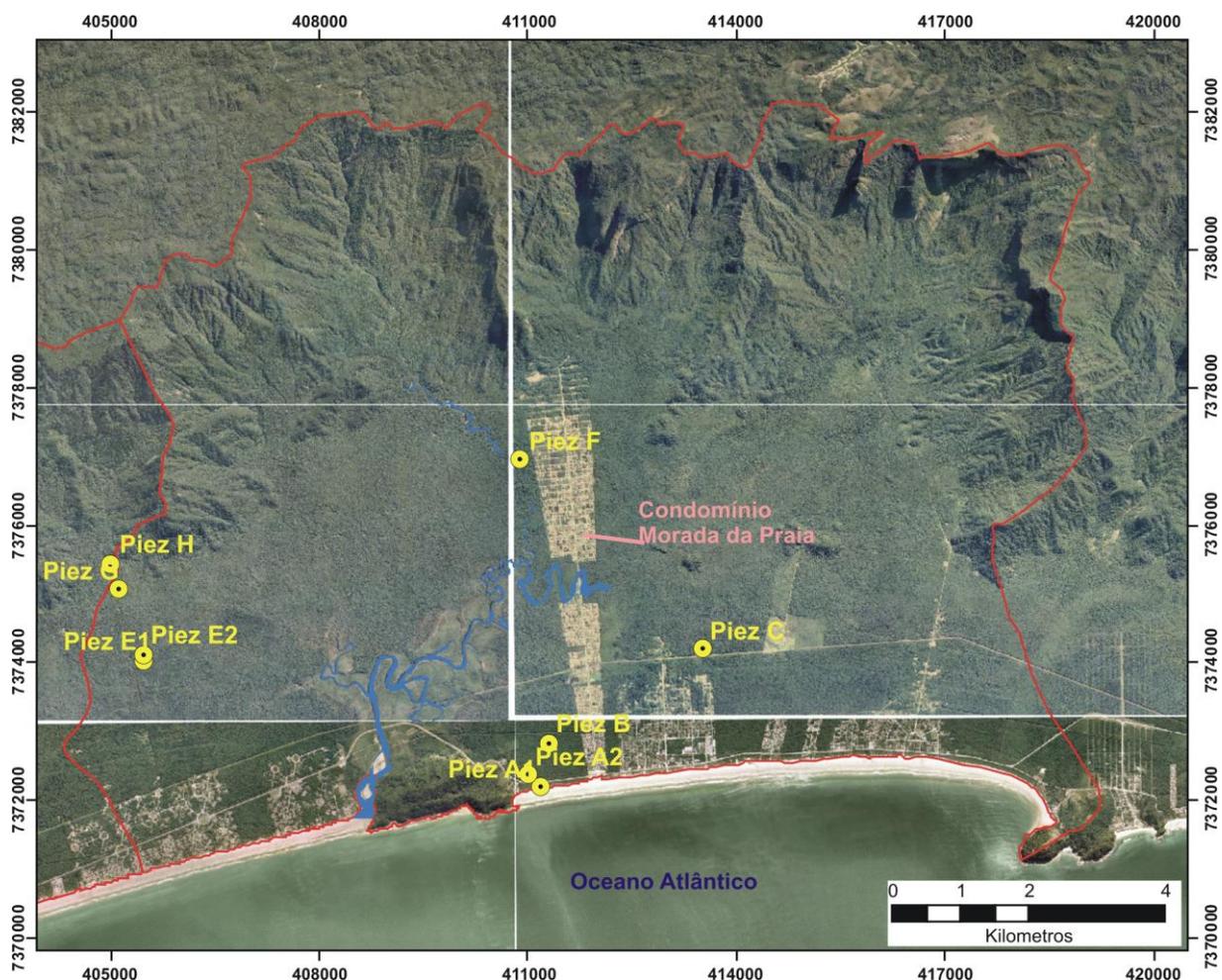


Figura 13: Localização dos Piezômetros (Piez) na Bacia do Rio Guaratuba (base: ortofotorretificada de 2001 (Instituto Florestal, PPMA/KfW).

Os poços de monitoramento foram alocados em função das UQs ou de diferentes tipos de sub-biomas no caso de ocorrência de mais um tipo de formação florestal na mesma UQ, da seguinte forma:

- Piez-A1 - em Cordões Litorâneos Holocênicos sob Floresta Baixa de Restinga;
- Piez-A2 – em Cordões Litorâneos Holocênicos sob Floresta Alta de Restinga (FaR);
- Piez-B - em Terraços Marinheiros Holocênicos sob FaR;
- Piez-C - em Terraços Marinheiros Pleistocênicos baixos sob FaR;
- Piez-F - em um Terraço Fluvial Pleistocênico sob Floresta Aluvial;
- Piez-E1 e Piez-E2 - respectivamente em Terraços Marinheiros Pleistocênicos altos (LPTa/FaR) e Depressões Paleolagunar-estuarinas Holocênicas (LCD/FaRu) sob Floresta alta de Restinga úmida;
- Piez-G - em planície de Depósitos Mistos sob Floresta de Transição Restinga-Encosta e;
- Piez-H - em Depósitos de Encosta sob Floresta de Transição Restinga – Encosta.

Os piezômetros foram preparados com os seguintes componentes: filtro de monitoramento DN 50” x 1m (tubo de PVC com ranhuras que permitem a percolação da água para dentro do piezômetro); revestimento de monitoramento DN 50” x 1m e revestimento de monitoramento DN 50” x 2m (tubos de PVC sem ranhuras); capa de monitoramento DN 50”, com a função de tampar a extremidade inferior do piezômetro; capa de pressão 2” plástica, que protege a extremidade superior do piezômetro e pode ser manuseada durante os monitoramentos; areia muito grossa-cascalho para revestir o filtro de monitoramento (pré-filtro) e argila bentonita para selar o filtro (selante) (Figura 14).

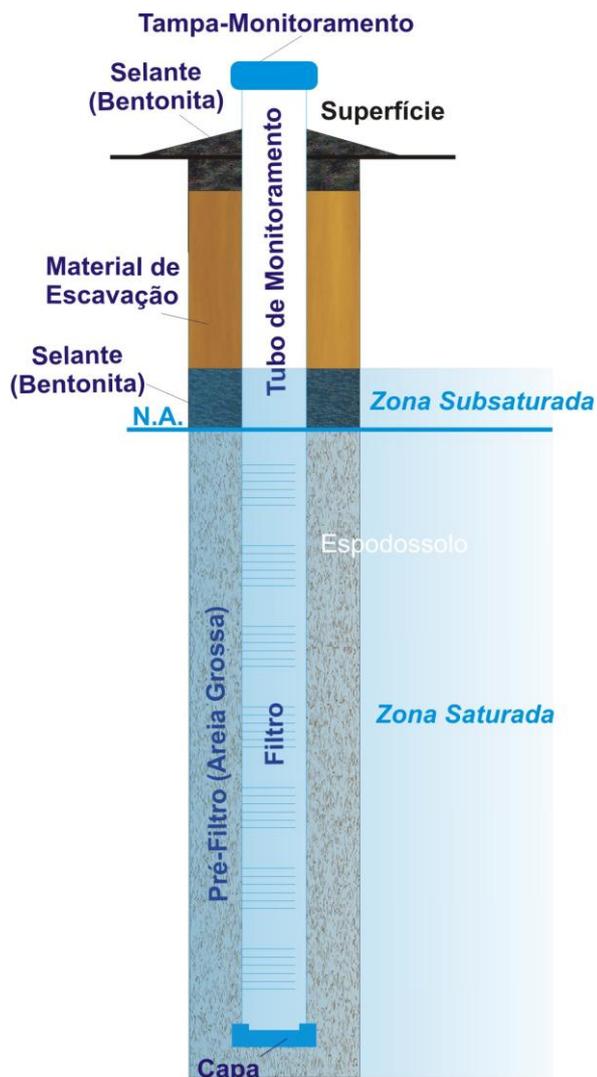


Figura 14: Esquema de um piezômetro montado, com detalhe de suas peças e materiais utilizados e as zonas correspondentes.

O procedimento de instalação dos piezômetros teve como base o estabelecido na Norma Técnica da ABNT nº 13.895 de junho de 1997 (www.abnt.org.br/). Não foram encontrados trabalhos sobre procedimentos metodológicos de instalação de piezômetros em sedimentos de planície costeira. Nessas áreas o NA é raso, os sedimentos são, em geral, arenosos e, por isso, apresentam problema de solapamento nas laterais do furo. Também, e a presença de espodossolos pode trazer dificuldade, especialmente onde o horizonte Bh *orstein*, que possui alta dureza, está presente.

Devido à diversidade de substratos sedimentares, e às suas diferentes características, cada UQ apresentou um grau de dificuldade de instalação que variou em função do tipo de sedimento, das características pedogenéticas do pacote, da profundidade do NA e da quantidade e profundidade das raízes. Por isso, alguns ajustes metodológicos inéditos foram necessários.

Os trabalhos de instalação dos piezômetros foram realizados nos meses de julho e agosto de 2009, cujos procedimentos são descritos à seguir.

O primeiro passo da instalação dos piezômetros foi a escavação de uma trincheira até o início da zona saturada (Figura 15a). Em seguida, e o mais rápido possível, era introduzido no sedimento um tubo guia de PVC de 100 polegadas de diâmetro e 2 m de altura. Este tubo-guia tinha a função de conduzir a sondagem, de forma a manter o furo perpendicular ao solo e impedir o desmoronamento da parede interna do poço. A verticalidade do furo era permanentemente verificada através do uso de um prumo de visada de bolhas e, sempre que necessário corrigido.

No interior do tubo guia era inserido um trado manual para areia (exceto no piezômetro E-2, cujo sedimento é organo-pelítico) para perfurar o sedimento e aprofundar o furo (Figura 15b). Cada vez que o copo amostrador do trado estava repleto de sedimento, o mesmo era sacado para a remoção do material, descrição e coleta de amostras (pacote pedológico e sedimentar), medida das profundidades e, obviamente, acompanhamento detalhado do grau de umidade do sedimento. Por causa da pressão hidrostática, a cada sacada do trado era necessário aprofundar simultaneamente o tubo-guia, tarefa esta que, em geral, necessitava do trabalho sincronizado e da força conjunta de até cinco homens.



Figura 15: (a) Processo de escavação de uma trincheira em depósito arenoso.(b) Perfuração de poço de monitoramento com trado manual.

Uma vez atingido o NA, o filtro de monitoramento era rapidamente introduzido, pois com a liberação da pressão hidrostática, os sedimentos saturados com água poderiam ser projetados para cima através do tubo-guia, causando o entupimento do mesmo e impedindo a penetração do filtro de monitoramento até a profundidade desejada. A ineficiência na realização desta operação provocou o abandono de alguns furos.

Após este procedimento, o furo era aprofundado por mais 1,20 m abaixo do NA, para garantir que em qualquer estação do ano o filtro de monitoramento estivesse a uma profundidade mínima de 1 m abaixo do NA e sempre dentro da zona saturada (NT da ABNT).

Uma vez ajustado adequadamente o filtro, era feita a colocação dos demais tubos, tantos quanto fossem necessários, até completar a extensão do tubo guia e ultrapassar a superfície do terreno em pelo menos 20 cm (Figura 16).



Figura 16: Piezômetro instalado, ainda posicionado dentro do tubo-guia.

Antes da remoção total do tubo-guia, despejava-se certa quantidade de areia muito grossa-cascalho (pré-filtro) entre o filtro de monitoramento e o tubo-guia, até atingir o limite superior da zona sub-saturada. Esta, por sua vez, era preenchida com bentonita, para selar o filtro. Alguns segundos após esse procedimento, o tubo-guia era cuidadosamente retirado, a trincheira era preenchida com o próprio material da escavação e a superfície do terreno impermeabilizada com bentonita, para evitar a infiltração de água da chuva para o interior do poço (Figura 17).

Cerca de 20 minutos após toda essa operação a profundidade do NA era então medida com o auxílio de um medidor de nível com apito eletrônico na extremidade. Feito isto, o piezômetro era lacrado e sobre o lacre anexada a placa de identificação do poço (Figura 17).



Figura 17: Poço de monitoramento piezométrico selado com pellets de bentonita (usados para impermeabilizar a superfície do terreno), e identificado com placa plastificada.

É importante ressaltar que como o inverno de 2009 foi anormalmente chuvoso, o NA se encontrava bastante elevado em todas as UQ. De fato, quando comparados a níveis observados em julho-agosto de 2006 (Moreira, 2007; Souza *et al.*, 2009), verifica-se que as profundidades destes últimos se encontravam bem abaixo das observadas em 2009.

4.3. Caracterização da Rede de Drenagem Superficial nos Ambientes Sedimentares Quaternários

O estudo de recursos hídricos superficiais de uma determinada área fornece importantes informações a respeito da velocidade, da qualidade e da quantidade de água presente no sistema (Garcia, 1982). Os padrões de drenagem podem revelar características do meio físico, principalmente o geológico e

geomorfológico, como também outros fatores que a condicionam como o clima, a pedogênese e os ambientes fitofisionômicos (e.g. Lima, 2002).

A drenagem fluvial é composta por um sistema formado por diversos canais de escoamento interligados. Estes canais formam uma bacia de drenagem que é definida como uma área drenada por um determinado rio ou um sistema fluvial. A quantidade de água que alimenta os cursos fluviais depende do tamanho da área da bacia, do regime pluviométrico e das perdas devido à evapotranspiração e à infiltração (Christofolletti, 1980).

Na presente pesquisa a caracterização da rede de drenagem em cada UQ foi realizada por meio de técnicas clássicas de fotointerpretação sobre fotografias aéreas ortorretificadas do ano de 2001, em escala 1:35.000 em papel (Instituto Florestal, PPMA/KfW).

Com o auxílio de um estereoscópio de bolso foram elaborados *overlays* em papel ultraphan, para a confecção do Mapa de Drenagem, que foi digitalizado por meio da ferramenta de SIG do programa ArcGis 9.2.

Um método clássico de análise da rede de drenagem de uma área é o método de amostras circulares descrito por Buringh (1960), que recomendou a utilização de áreas de 10 a 100 km². Posteriormente, Freire (1977) e Politano (1980) recomendaram amostras circulares menores, de 5 km². Rossi (1999) aplicou o método para caracterizar a rede de drenagem na Bacia do Rio Guaratuba e utilizou círculos de 0,5 km², distribuídos entre três compartimentos morfológicos diferentes: o planalto, a escarpa e a planície costeira. Demattê *et al.* (2011), também utilizaram a técnica de amostras circulares, com áreas de 20 km², em levantamentos pedológicos no município de Maracaju (MS), onde cada amostra circular foi estabelecida a partir variação da classe de solo e do tipo da rede de drenagem.

Na presente pesquisa, a área da amostragem para análise da rede de drenagem em cada uma. Desta forma, as amostras circulares variaram entre 0,2 e 0,5 km², como exemplificado na figura 18.

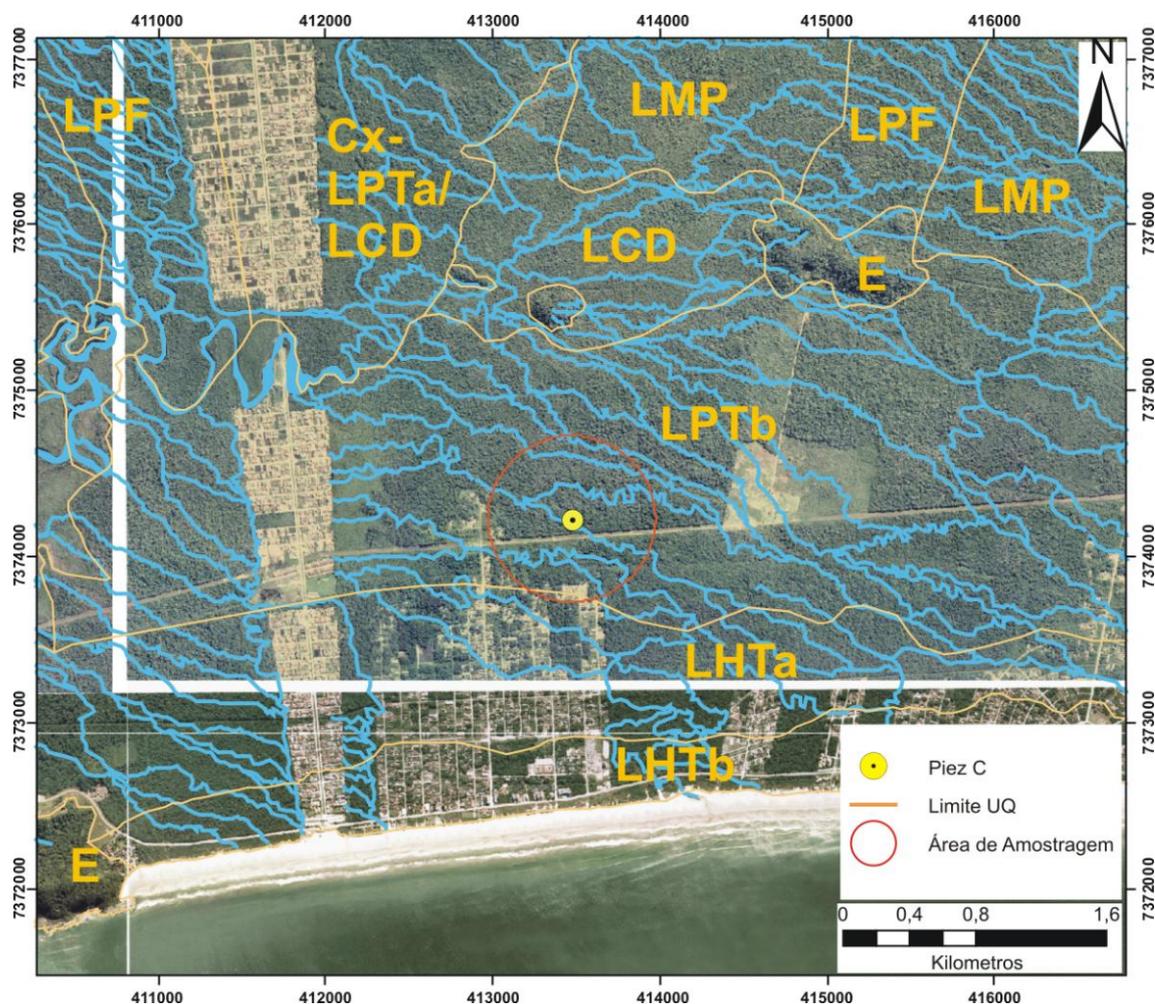


Figura 18: Exemplo de amostra circular, com 0,5 km², a partir do piezômetro C sobre LPTb (base adaptada de Souza, 2007).

A caracterização morfométrica da rede de drenagem em cada área circular foi feita a partir de alguns parâmetros morfométricos, descritos na literatura (e.g. Lima, 2002; Souza, 2005). Foram selecionados os mesmos parâmetros morfométricos utilizados por Rossi (1999), a saber: número total de canais (Nc), ordem hierárquica dos canais (O), frequência de canais (F), densidade de drenagem ou de canais (Dd), comprimento médio de canais (Lm).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Caracterização Climática

5.1.1. Pluviosidade

Na tabela 2 são apresentados os dados de pluviosidade, que foram coletados no transecto de pluviômetros instalados ao longo da área de estudo. Esta etapa do trabalho foi longa e contou com alguns imprevistos, pois alguns aparelhos não funcionaram em determinados meses, enquanto outros foram removidos por terceiros. Como forma de preencher estas lacunas, foi utilizado o valor médio do ponto com ausência de dado, identificado a partir da linha de tendência da curva de chuva, para o mês em questão.

No mês de julho de 2009 foram registrados volumes de chuva acima de 200 mm em, praticamente, toda a extensão da planície costeira. O único aparelho que registrou valor inferior foi o Pluv 7, com 160 mm. Os dados de agosto de 2009 são ligeiramente menores comparados ao mês anterior, sendo o menor valor registrado no Pluv 5 (131 mm) e o maior no Pluv 2 (224 mm). O mês de setembro de 2009 voltou a registrar volumes de pluviosidade acima de 200 mm, variando de 230 mm, no Pluv 1, até 304 mm no Pluv 7.

De outubro, até dezembro de 2009, a pluviosidade foi elevada, pois, com exceção aos Pluv 1 e 2 (mês de novembro) que registraram 160 e 190 mm respectivamente, a pluviosidade manteve-se sempre superior a 200 mm, ultrapassando os 300 mm em outubro (Pluvs 6 e 7) e em todos os aparelhos em dezembro de 2009.

De julho até dezembro de 2010, houve aumento no volume de chuva registrado ao longo de toda a Bacia.

Tabela 2: Pluviosidade registrada nos pluviômetros instalados na Bacia do Rio Guaratuba, durante julho de 2009 e agosto de 2011.

	Mês	Data de Coleta	Pluv 1	Pluv 2	Pluv 3	Pluv 4	Pluv 5	Pluv 6	Pluv 7
2009	jul	10/08/2009	237	208	225	265	215	239	160
	ago	12/09/2009	198	224	146	173	131	160	180
	set	05/10/2009	230	263	235	260	270	280	304
	out	30/10/2009	160	190	224	241	284	305	330
	nov	26/11/2009	207	213	230	254	262	198	295
	dez	23/12/2009	316	311	318	326	317	318	315
2010	jan	26/01/2010	176	256	218	223	197	238	278
	fev	24/02/2010	139	298	285	198	256	240	216
	mar	27/03/2010	295	352	360	312	257	348	371
	abr	28/04/2010	107	93	105	85	98	67	78
	mai	27/05/2010	92	87	96	83	78	91	103
	jun	26/06/2010	73	88	94	65	87	103	92
	jul	25/07/2010	141	122	136	61	116	125	114
	ago	25/08/2010	121	136	125	118	123	125	128
	set	27/09/2010	178	230	198	202	238	242	252
	out	26/10/2010	142	205	200	216	240	250	263
	nov	25/11/2010	199	205	210	207	220	214	212
	dez	23/12/2010	290	302	290	315	298	215	326
2011	jan	28/01/2011	181	198	205	210	251	234	232
	fev	27/02/2011	198	195	187	198	210	198	203
	mar	28/03/2011	143	160	188	166	164	177	181
	abr	27/04/2011	62	73	81	80	77	97	98
	mai	28/05/2011	45	51	55	68	85	81	95
	jun	29/06/2011	51	56	64	57	62	55	61
	jul	27/07/2011	89	97	110	96	89	98	97
	ago	28/08/2011	124	125	127	139	122	141	136
		Média	161	182	181	178	183	186	197
		Desv. Padrão	74,0	84,9	80,2	85,3	81,7	82,6	92,8

O ano de 2010 começou com pluviosidade bem elevada, com registro variando de 176 mm (Pluv 1) até 278 mm (Pluv 7) em janeiro. Os meses de fevereiro de 2010 e março permaneceram úmidos, sendo que em março chegou a ser registrado 370 mm no Pluv 7. A partir de abril até junho de 2010, o volume de chuva

caiu significativamente, pois neste período a pluviosidade variou entre 107 mm, registrado no Pluv 1 (abril) e 65 mm registrado no Pluv 4 (junho).

Em julho e agosto foram registrados dados de pluviosidade acima de 100 mm, com exceção apenas do Pluv 4 (julho) que contabilizou 61 mm de chuva. No mês de setembro de 2010, a pluviosidade variou entre 178 mm (Pluv1) e 252 mm (Pluv 7). A partir de outubro até novembro de 2010, os registros de chuva estiveram sempre acima de 200 mm entre os aparelhos Pluv 2 e Pluv 7, e somente no Pluv 1, foram registrados valores inferiores, sendo 142 e 199 mm em outubro e novembro, respectivamente.

No ano de 2011, a precipitação permaneceu acima de 100 mm entre janeiro e março, com alguns registros ultrapassando 200 mm os dois primeiros meses desse ano. Entre abril e julho de 2011, foram registrados volumes bem inferiores ao início do ano. O menor valor foi 45 mm em maio (Pluv 1) e o maior valor foi 110 mm em julho (Pluv 3). O último mês, agosto de 2011, apresentou volume de chuva acima de 100 mm em todos os pontos, variando entre 122 e 139 mm. Os dados de chuva de cada pluviômetro possuem um desvio padrão altíssimo, o que mostra o quanto que esses dados variaram em torno da média.

A figura 19 mostra a variação de pluviosidade ao longo dos 24 meses de coleta de dados.

Comparando as estações do ano, percebe-se que o inverno e a primavera de 2009 (julho a novembro) foram bem mais úmidos que nos anos consecutivos. O verão de 2010 (dezembro a março) também teve acúmulos de chuva bastante elevados, em relação ao mesmo período de 2011.

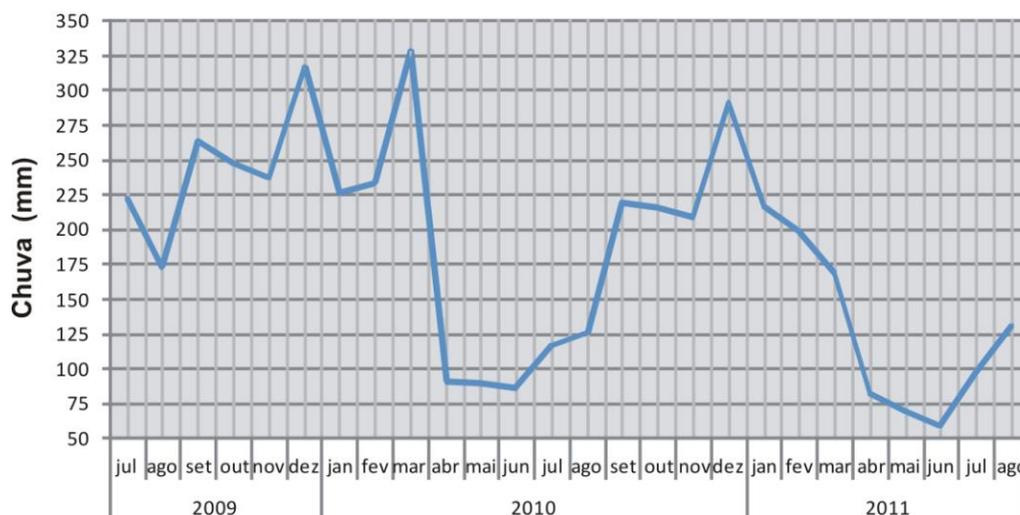


Figura 19: Curva de pluviosidade da Bacia do Rio Guaratuba. Julho de 2009 e agosto de 2011.

A partir de abril de 2010 os valores caem consideravelmente. Os valores mais baixos ocorreram no outono e inverno de 2010 e 2011, e os superiores ocorreram no verão e primavera de 2010/2011. Os períodos mais chuvosos e os mais secos são explicados a partir da análise sinótica para a região, como mostra a tabela 3.

Entre o inverno de 2009, entre agosto e setembro, foi marcado pela ocorrência de sucessivas ondas frontais que atingiram a área que compreende a Bacia do Rio Guaratuba, o que trouxe muita umidade à região. Inclusive, em setembro de 2009, uma Zona de Convergência de Umidade (ZCOU), atuou sobre o Estado de São Paulo, causando significativos acumulados de chuva.

No período entre a primavera de 2009 (final de setembro) e o verão de 2010 (março), a região foi atingida por sucessivas ondas frontais, associadas à ação permanente de uma ZCOU, que com exceção de dezembro de 2009, se fez presente em todo este período.

Após este período, ocorreu uma pausa na ação das ZCOU na região. Sistemas frontais passaram a atuar sobre a região sempre seguidos por massas de

ar frio, o que resultou em baixos acúmulos de chuvas e queda de temperatura do ar. Em outubro e novembro de 2010, as ZCOU voltaram a agir sobre a região estudada, e associada aos sistemas frontais trouxe elevados acúmulos índices de umidade. Em Dezembro de 2010 não houve ação de nenhuma ZCOU, mas os sistemas frontais trouxeram chuvas fortes, principalmente para o litoral do Estado de São Paulo.

O ano de 2011 começou com a ação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) em janeiro, fevereiro e março. Em janeiro, a combinação das ZCOU, ZCAS e dos sistemas frontais, trouxe elevados índices de chuva à área de estudo, enquanto que em fevereiro e março, apenas a ZCAS associada aos sistemas frontais, atuaram sobre a região. Os meses seguintes sofreram apenas com a ação de sistemas frontais, por vezes associados à ciclones extratropicais, trazendo chuva e queda de temperatura com o passar das massas de ar frio que sucediam os sistemas frontais.

Segundo o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), no início do período amostral ocorria a ação do fenômeno climático *El Niño* de intensidade fraca (Tabela 4). Entre o inverno de 2009 e a primavera de 2010, os volumes de chuva estiveram muito elevados. Inclusive, a escolha deste período para a instalação dos equipamentos teve como fundamento a característica pluviométrica do inverno tropical úmido, que tem diminuição das chuvas neste período. Todavia, a equipe foi surpreendida com chuvas permanentes durante todo o trabalho de campo (junho de 2009) que permaneceu até março de 2010.

Tabela 3: Síntese sinótica para a região em que se insere a área de estudo. Julho de 2009 e agosto de 2011. Fonte: <http://www.cptec.inpe.br/noticias/noticia/16349>. (Acesso a partir agosto de 2009 a setembro de 2011)

Mês	Análise Sinótica
2009	Jul Ação de Sistemas Frontais no Sudeste. Sistema de baixa pressão seguido por massa de ar frio. Acumulo significativo de chuva em SP.
	Ago Sucessivos sistemas frontais associados à passagem de cavados de baixa pressão sobre a região sudeste, provocando muita chuva e queda de temperatura em SP.
	Set Sistemas frontais vindos da região Sul influenciaram na formação de chuvas em toda a região Sudeste. Zona de Convergência de Umidade (ZCOU) que causou chuvas significativas em SP.
	Out Cinco sistemas frontais originados na Argentina percorreram a região Sul do Brasil, causando significativo acumulo de Chuvas no Litoral de SP. O quarto sistema frontal deu origem a um episódio de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCOU)
	Nov Sete sistemas frontais com origem na Argentina atuaram sobre o SP. O Quarto sistema frontal permaneceu estacionado em SP, e favoreceu uma Zona de Convergência de Umidade (ZCOU).
	Dez Uma onda frontal, com características subtropicais, formou-se a leste da Região Sul do Brasil dando início ao processo de formação de uma Zona de Convergência de Umidade do Atlântico Sul, que atuou sobre SP.
2010	Jan A ação de frentes frias vindas da Argentina deslocamento pela costa entre a Região Sul e SP, levando muita umidade para essas regiões. Seu deslocamento pelo oceano entre o Sul e Sudeste do país favoreceu a configuração de uma Zona de Convergência de Umidade (ZCOU).
	Fev Sete ondas frontais originadas na Argentina atuaram na região Sul e Sudeste do Brasil. Uma Zona de Convergência de Umidade (ZCOU) atuou nessas regiões, favorecendo e a umidade sobre esta parte do continente e levando a acumulados significativos de chuva.
	Mar O começo do mês foi marcado pela presença de uma Zona de Convergência de Umidade (ZCOU), que atuou entre o Sudeste e o sul do Amazonas. Após a ação de um frente fria, outro episódio de ZCOU se estabeleceu sobre parte das Regiões Sudeste, Centro-Oeste e Norte do Brasil, ocasionando acumulados significativos de chuva sobre estas Regiões.
	Abr Cinco sistemas frontais atuaram sobre a região Sudeste do Brasil, originados na Argentina. Estes sistemas, associados às massas de ar frio trouxeram umidade e causaram quedas de temperatura.
	Mai A segunda frente fria deste mês veio acompanhada de uma massa de ar frio intensa. Ela chegou a causar algumas pancadas fortes de chuva com trovoadas no sul e sudoeste de SP. Um Vórtice Ciclônico atuou entre a região Sul e Sudeste do Brasil, onde provocou ventos fortes, alagamentos e deslizamentos de encostas. Em sua passagem pelo Sudeste provocou chuvas. O ar frio retido com passagem da frente anterior e o aprofundamento do VC gerando uma ciclôgenese provocaram queda de temperatura em SP.
	Jun Quatro sistemas frontais, seguidos por massas de ar frias atuaram sobre o Sudeste do Brasil. As frentes frias atuaram em maior parte sobre o oceano, provocando poucas chuvas. Neste mês foram registradas temperaturas relativamente baixas.
	Jul Cinco sistemas frontais, seguidos por massas de ar frias atuaram sobre o Sudeste brasileiro. A quinta frente fria, que foi formada por um vórtice frio que cruzou os Andes, não teve muita intensidade e não avançou além de Paranaguá pelo litoral. Ocorreram poucas chuvas e baixas temperaturas.
	Ago Uma onda frontal se formou no início desse mês atingindo o litoral sul de SC e propagou para o Atlântico, mas influenciando o tempo no litoral do Sudeste. Em sua passagem pelo litoral do Sudeste provocou chuvas fracas e declínio de temperaturas. Uma segunda onda frontal se formou entre o norte e centro do Uruguai. Este sistema chegou ao SP causando declínio de temperaturas e chuva fraca.
	Set Cinco sistemas frontais atingiram o Sudeste do Brasil causando declínio de temperatura atingiu as capitais São Paulo e Rio de Janeiro, onde as máximas no dia 19 foram de 19C e 22C, respectivamente. O último sistema frontal teve a formação relacionada com a passagem de um cavado pelos Andes, migrando para leste entre o PR e SP, pois encontrou uma atmosfera mais úmida em superfície com um canal de umidade deixada pela frente anterior.
	Out Oito ondas frontais passaram pelas proximidades do litoral de SP, causando nebulosidade e pancadas de chuva, além de formar uma Zona de Convergência de Umidade (ZCOU).
	Nov Neste mês, três ondas frontais atuaram no Sudeste do Brasil. Entre os dias 23 e 28 um episódio de ZCOU atuou entre o Sudeste, Centro-Oeste e sul do Amazonas provocando muita instabilidade e chuva nessa grande área, inclusive com rajadas de vento e queda de granizo entre SP e o Vale do Paraíba. Os sistemas frontais provocaram temporais no Sul e no Sudeste.

	Dez	Quatro sistemas frontais vieram da Argentina e se deslocaram para o litoral norte de SP. No dia 12 formou-se uma linha de instabilidade associada a uma frente fria, provocando raios, ventos de mais de 100 km/h, queda de granizo e chuva forte em alguns municípios do interior de SP e na capital paulista. No dia 13 também houve temporais em SP.
	Jan	Dois episódios de ZCOU e ZCAS atuaram no início deste mês, movendo-se devagar para o sul, provocando elevados volumes de chuva no litoral de SP.
	Fev	Neste mês ocorreram dez sistemas frontais no Brasil. O quarto sistema frontal favoreceu a convergência de umidade na costa de SC, e juntamente ao deslocamento de um cavado favoreceu a configuração de um evento de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), levando umidade entre o nordeste catarinense, PR e SP.
	Mar	No início do mês atuou uma Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) causando muita instabilidade entre o Sudeste e o Centro-Oeste e sul do Estado do Amazonas, provocando chuva em SP. Ao todo foram seis ondas frontais, sendo que a última alcançou o litoral de SP.
	Abr	Dez sistemas frontais atuaram pelo Brasil neste mês. O oitavo atingiu a região Sul e se deslocou pelo oceano a leste de SP, trazendo muita umidade para a região associada à presença de um cavado em níveis médios.
2011	Mai	No início do mês, um sistema frontal, associado à formação de um Vórtice Ciclônico, provocou nebulosidade e chuvas em SP, provocando uma ressaca. Outro cavado atravessou os Andes e começou a formar o oitavo sistema frontal. Este sistema chegou ao Atlântico aumentando a umidade em direção ao litoral do Sudeste nos dias 28 e 29, o que provocou chuva fraca. Um ciclone extratropical associado a esse sistema front provocou ressaca entre o litoral do Sul e do Sudeste.
	Jun	Neste mês sete sistemas frontais atuaram no país, e no início do mês o ar frio ainda persistiu entre o Sul e o Sudeste e provocando temperatura baixa e geada em vários municípios. O primeiro ciclone extratropical se formou no dia 07, o que provocou chuva fraca em SP.
	Jul	Neste mês ocorreram poucos sistemas frontais atuantes no Brasil. Ao todo ocorreram cinco sistemas frontais, sendo que o terceiro originado em uma ciclogênese na Província de Buenos Aires, provocou chuva fraca em parte de SP.
	Ago	O início do mês foi marcando pelas chuvas que ocorreram no Vale do Ribeira em SP, onde a precipitação ocorrida no último dia de julho persistiu para o primeiro dia do mês de agosto, com valores que ultrapassaram mais de 100 mm em muitos municípios do Paraná e do sul de SP. Oito sistemas frontais atingiram o Sudeste do Brasil. O segundo sistema frontal oscilou estacionário, quando uma ciclogênese ocorreu ao leste de SP.

Não foram adicionadas informações para o restante de 2010 e o início de 2011. Mas acompanhando os dados de pluviosidade posteriores (segundo semestre de 2010 e primeiro semestre de 2011) presume-se que em tal período tenha ocorrido a influência do *La Niña*, uma vez que os índices de chuva estiveram bem mais baixos.

Tabela 4: Histórico de ocorrência de *El Niño* e *La Niña*, entre 1877 e 2010. Fonte: <http://enos.cptec.inpe.br/>, acessado em 25/10/2011.

Ocorrência de <i>El Niño</i>		Ocorrência do <i>La Niña</i>	
1877 - 1878	1888 - 1889	1886	1903 - 1904
1896 - 1897	1899	1906 - 1908	1909 - 1910
1902 - 1903	1905 - 1906	1916 - 1918	1924 - 1925
1911 - 1912	1913 - 1914	1928 - 1929	1938 - 1939
1918 - 1919	1923	1949 - 1951	1954 - 1956
1925 - 1926	1932	1964 - 1965	1970 - 1971
1939 - 1941	1946 - 1947	1973 - 1976	1983 - 1984
1951	1953	1984 - 1985	1988 - 1989
1957 - 1959	1963	1995 - 1996	1998 - 2001
1965 - 1966	1968 - 1970	2007 - 2008	-
1972 - 1973	1976 - 1977	Legenda: Forte Moderada Fraco	
1977 - 1978	1979 - 1980		
1982 - 1983	1986 - 1988	Fontes de Informações	
		Rasmusson e Carpenter 1983, Monthly Weather Review, Ropelewski e Halpert 1987, Monthly Weather Review. Cold episode sources Ropelewski e Halpert 1989, Journal of Climate. Climate Diagnostics Bulletin. A intensidade dos ventos é baseada no padrão e magnitude das anomalias da TSM do Pacífico Tropical.	
1990 - 1993	1994 - 1995		
1997 - 1998	2002 - 2003		
2004 - 2005	2006 - 2007		
2009 - 2010	-		
Legenda: Forte Moderada Fraco			

As figuras 19 a, b, c e d representam dados mensais de pluviosidade, retirados da série histórica de 1970 a 1994 (DAEE, 2009), nos períodos de *El Niño*. No ano de 1972, dois meses apresentam anomalias positivas e negativas, respectivamente, pois fevereiro registrou mais de 450 mm de chuva e dezembro apenas 50 mm. Em junho desse ano a pluviosidade foi praticamente 0. Em abril de 1983 (Figura, 19b) a pluviosidade chegou a 400 mm, inverno (julho e agosto), a pluviosidade mínima foi de cerca de 50 mm.

O ano que mais se assemelha ao período amostral desta pesquisa foi 1993, uma vez que o inverno neste período apresentou anomalia positiva de pluviosidade, tal como julho a setembro de 2009. O ano de 1993 teve os menores

valores de chuva, interligados por dois picos (maio e agosto). Com 200 e 175 mm, respectivamente.

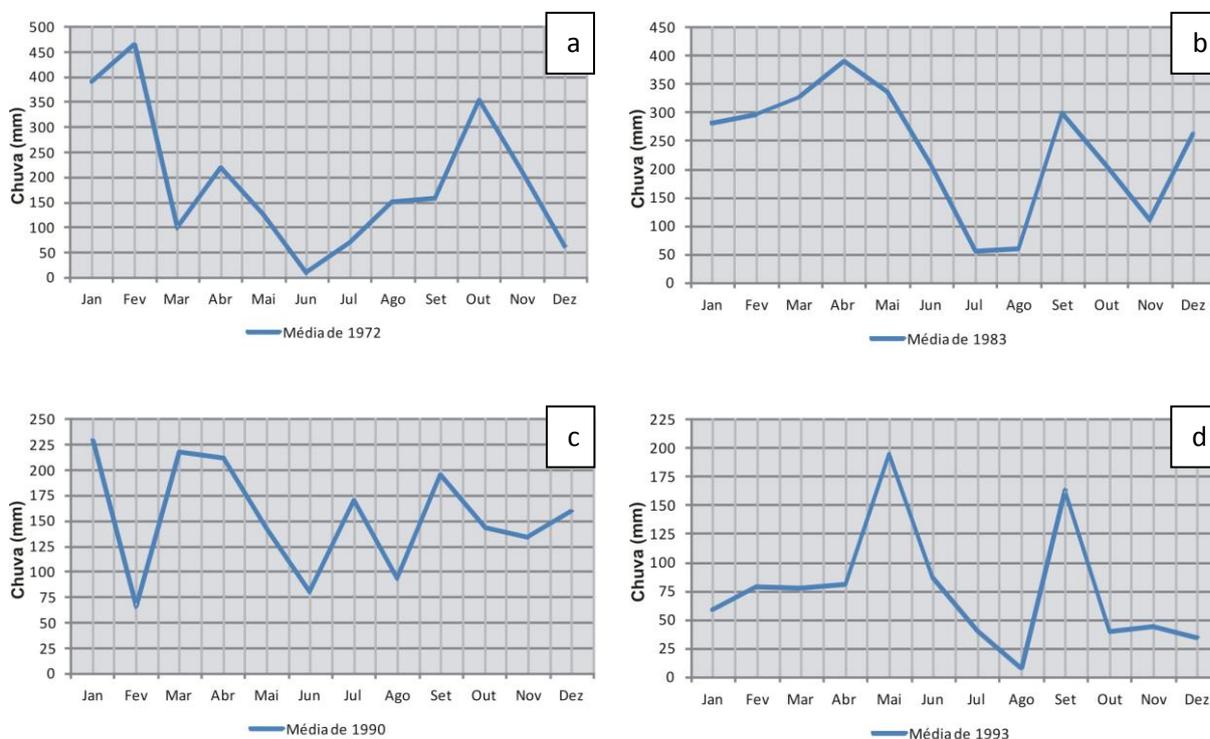


Figura 20: Curvas de pluviosidade mensal para alguns meses com influência do El Niño. Fonte de dados de precipitação média para série histórica de 1970 a 1994 (DAEE, 2009).

Neste sentido, não se pode descartar a possibilidade de influência de fenômenos de mesoescala, como o ENOS (*El Niño* e Oscilação Sul). Entre 2009 e meados de 2010 atuou o *El Niño*, sucedido pela *La Niña*, desde junho/2010 até o presente momento (início do decaimento em maio/2011, segundo dados do INPE). Os índices registrados se assemelham aos do ano de 1990, quando também ocorreu elevado volume de chuva durante o inverno e atuava um *El Niño* de forte intensidade.

A figura 21 mostra a pluviosidade média obtida para o período amostral em cada pluviômetro. Os resultados podem ser correlacionados às faixas de abrangência das UQs, uma vez que os pluviômetros foram alocados com essa

finalidade. O pluviômetro 1, que representa a UQ LHTb (Cordões litorâneos Holocênicos), mais próxima à praia recebeu o menor volume de chuva da bacia, apresentando média de 161,3 mm de chuva. No pluviômetro 2, que representa a UQ LHTa (Terraços Marinhos Holocênicos) observa-se pluviosidade média mais elevada, da ordem de 182,2 mm.

No pluviômetro 3, que representa a transição de LHTa e LPTb (Terraços Marinhos baixos Pleistocênicos) ocorreu uma ligeira diminuição da pluviosidade média, para 181,2 mm. Esse valor continua baixando até o pluviômetro 4, instalado em LPTb em transição para CxLPTa/LCD (Terraços marinhos altos Pleistocênicos e depressões paleolagunares-estuarinas Holocênicas) onde o valor foi de 177,6 mm.

No pluviômetro 5, que representa o contexto das UQs CxLPTa/LCD e LCD, há pouca variação em relação ao pluviômetro 4 embora a pluviosidade média tenha sido maior, de 182,6 mm. Ao fundo da planície costeira, no pluviômetro 6, que representa as UQs LPM e LPF (Depósitos Mistos Holocênicos e Terraços Fluviais altos Pleistocênicos), a pluviosidade média subiu para 190 mm. Já nos ambientes sedimentares do início da encosta (pluviômetro 7), foi registrado o maior índice pluviométrico do transecto, com cerca de 197 mm de chuva.

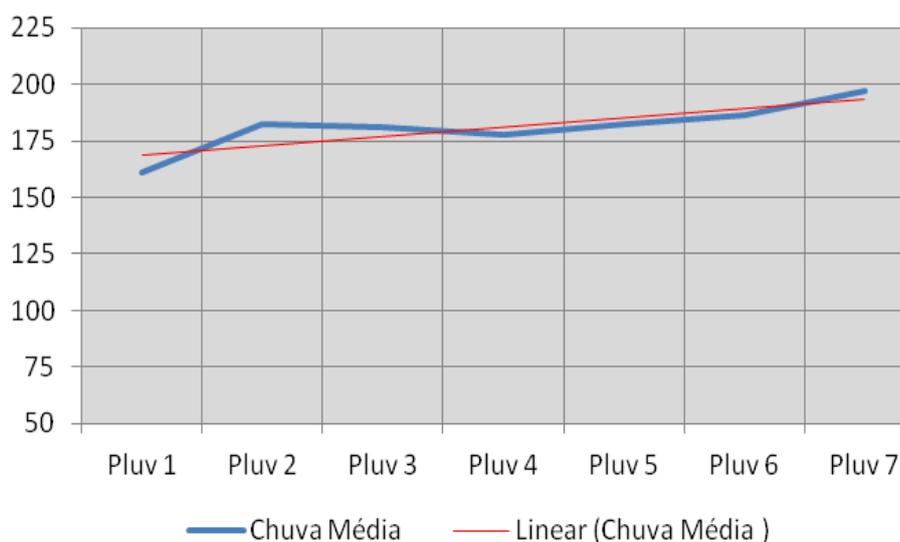


Figura 21: Distribuição da média pluviométrica (jul/09 a ago/11), ao longo das UQs onde foram instalados os pluviômetros, na bacia do Rio Guaratuba.

Esses resultados indicam pequenas, mas sensíveis, variações de pluviosidade entre a linha de costa e as encostas da Serra do Mar, com tendência geral de aumento dos volumes nesse sentido. Isto sugere que mesmo em planícies costeiras pouco extensas, o efeito orográfico pode ser marcante.

Por outro lado, analisando esses resultados no contexto dos sub-biomas (Figura 5) e das fitofisionomias que os caracterizam (Lopes, 2007; Souza *et al.*, 2009; Pinto Sobrinho & Souza, 2010) parece haver certa entre os tipos mais desenvolvidos (FaR, FAL, FTr) e os maiores índices pluviométricos médios, e os tipos menos desenvolvidos (FbR, CxFaR/FaRu) e os valores mais baixos de pluviosidade média

5.1.2. Temperatura e Umidade Relativa do Ar

A tabela 5 apresenta os valores médios de temperatura (T) e a umidade relativa do ar (UR) que foram aferidas durante os 24 meses de coleta de dados. No inverno de 2009, o mês de julho foi o que o apresentou menor T com 21,2 °C, e

umidade UR de 80%, seguido por agosto com 23,3 °C de T e 81% de UR e setembro com 22,3 °C de T e 90% de UR.

Na primavera de 2009, os valores de T apresentaram pequeno aumento em outubro, com 24 °C de T e diminuição da UR de 78%. Em novembro foram 30,4°C de T e 69% de UR e em dezembro 29,8 °C de T e 65% de UR, apresentando aumento significativa de T e diminuição da UR. No verão (2010), no mês de janeiro, a T foi de 29,9 °C e a UR foi de 72%. Mas em fevereiro, ocorreu uma queda de T, para 23,5 °C e aumento de UR para 82%. Março registrou nova elevação, pois obteve T de 26,2 °C e 71% de UR.

Nos meses do outono de 2010, T apresentou uma pequena queda, variando entre 26,5 e 28,3 °C, porém, a UR caiu consideravelmente, tendo seu menor valor em junho com 45%. No inverno de 2010 a T voltou a cair, sendo registrados 26,2 °C em julho, 24 °C em agosto e 23,1°C em setembro, além do aumento da UR entre 56% em julho e 82% em setembro.

A primavera de 2010 teve T em elevação, sendo registrado 26,6°C em outubro, 29,7°C em novembro e 29,6°C em dezembro, com UR, respectivamente, de 73%, 70% e 63%. O verão de 2011 começou quente, com 29,5°C em janeiro e com UR de 75%. Em fevereiro e março, a T apresenta, na sequência, 27,7°C e 25,4°C, com a UR subindo até 80% em março. A partir do outono até o inverno de 2011, a T passa a diminuir novamente, variando entre 26°C em abril e 23,5°C em agosto. A UR passa a subir no mesmo intervalo de tempo, variando entre 50 e 81%.

Tabela 5: Dados de temperatura média do ar e umidade relativa do ar registrada nos pluviômetros e nos piezômetros instalados na Bacia do Rio Guaratuba, durante julho de 2009 e agosto de 2011.

	Estação	Mês	T	UR (%)
2009	Inverno	jul	21,2	80
		ago	23,3	81
		set	22,3	90
	Primavera	out	24,0	78
		nov	30,4	69
		dez	29,8	65
2010	Verão	jan	29,9	72
		fev	23,5	82
		mar	26,2	71
	Outono	abr	28,3	67
		mai	26,5	47
		jun	28	45
	Inverno	jul	26,2	56
		ago	24,0	76
		set	23,1	82
	Primavera	out	26,6	73
		nov	29,7	70
		dez	29,6	63
2011	Verão	jan	29,5	75
		fev	27,8	78
		mar	25,4	80
	Outono	abr	26	72
		mai	25	51
		jun	26	50
	Inverno	jul	23,7	66
		ago	23,5	81

Como já esperado, os valores de T mais baixos ocorreram nos meses de inverno, seguidos pelos dados de outono. Contudo, o inverno de 2009 foi o período em que foram registrados os menores valores de T, quando comparados aos invernos de 2010 e 2011. Os períodos de primavera e verão possuem os maiores valores de T, que mantém valores bastante próximos entre os meses de 2009, 2010 e 2011.

Analisando a figura 22, percebe-se a relação entre a variação da T e a UR, pois, quanto a T apresenta que, a UR apresenta variação positiva. O inverno de

2009 foi o período em que a UR esteve mais elevada. Os períodos de outono (2010 e 2011) foram os de menor UR, seguidos pelos verões de 2010 e 2011.

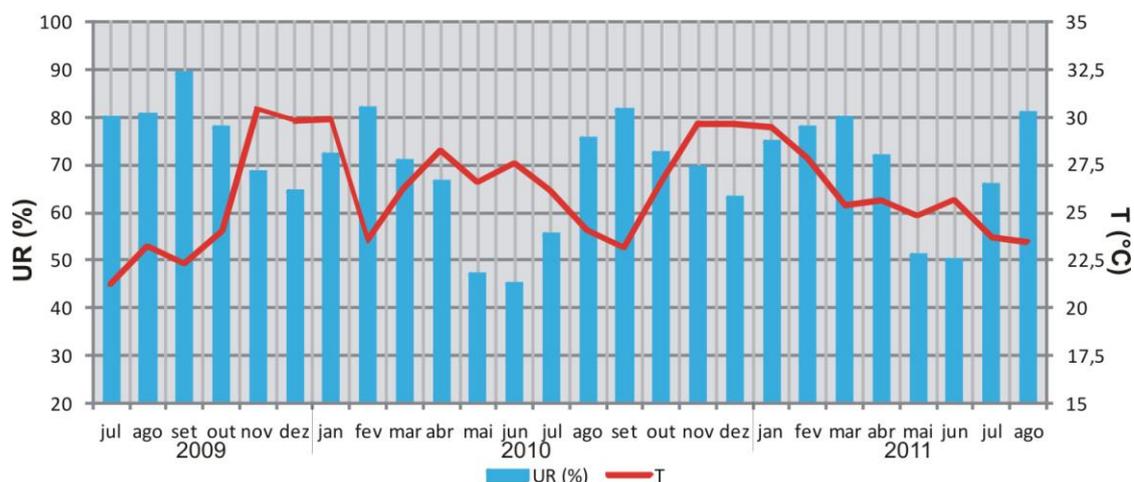


Figura 22: Variação da temperatura média do ar e umidade relativa do ar registrada nos pluviômetros e nos piezômetros instalados na Bacia do Rio Guaratuba, durante julho/2009 e agosto/2011.

5.1.3. Balanço Hídrico Climatológico (BHC)

5.1.3.1. BHC Normal

A curva de evapotranspiração normal da Bacia do Rio Guaratuba exhibe forma parabólica invertida, com valores elevados no verão, que descendem progressivamente até o inverno, quando atingem menor patamar, e ascendem paulatinamente na primavera até o verão (Tabela 6, Figura 23).

Assim, o mês com menor evapotranspiração foi o de junho, com a marca de 54,38 mm. A partir de julho, a taxa de evapotranspiração começa a elevar-se, atingindo 119,65 mm em outubro, e o pico em dezembro, com 150,12 mm no auge do verão.

Tabela 6: Evapotranspiração para a Bacia do Rio Guaratuba (Fonte: dados de temperatura do ar/série histórica de 1961 a 1990, INMET).

Evapotranspiração de Bertioga-SP Através do Método de Camargo								
	Qo	Tmed	NDP	ETP mm/mês	ETP mm/dia	Kc	ETr (ETP*Kc)	
Jan	0	17	23,8	31	124,7	4,0	1,2	149,63
Fev	0	16	24,1	28	108,0	3,9	1,2	129,56
Mar	0	14	25,1	31	110,5	3,6	1,2	132,59
Abr	0	12	22,5	30	80,3	2,7	1,2	96,39
Mai	0	10	19,8	31	61,4	2,0	1,2	73,66
Jun	0	8,3	18,2	30	45,3	1,5	1,2	54,38
Jul	0	8,9	16,9	31	46,6	1,5	1,2	55,95
Ago	0	11	18,2	31	59,2	1,9	1,2	71,09
Set	0	13	19,3	30	75,8	2,5	1,2	91,02
Out	0	15	21,3	31	99,7	3,2	1,2	119,65
Nov	0	17	23,0	30	113,9	3,8	1,2	136,62
Dez	0	17	23,6	31	125,1	4,0	1,2	150,12
Total			21,3		1050,5			

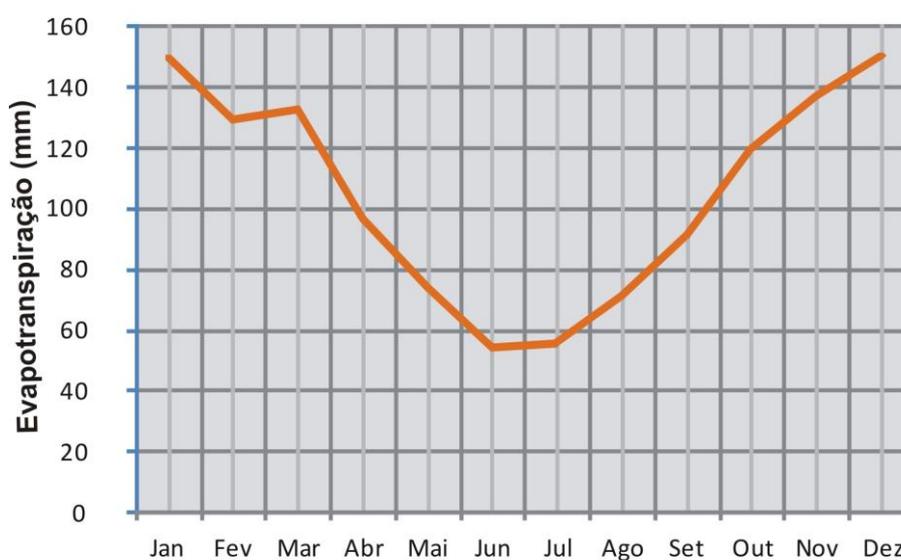


Figura 23: Curva de evapotranspiração para a bacia do Rio Guaratuba. (Fonte: dados de temperatura do ar/série histórica de 1961 a 1990, INMET).

A tabela 6 mostra ainda que esse comportamento apresenta forte correlação com as temperaturas médias mensais. Neste sentido, os maiores índices de evapotranspiração ocorreram nos períodos de janeiro a março e novembro a

dezembro, e os menores nos meses de junho e julho, com os demais meses apresentando valores progressivamente intermediários.

Os resultados do BHC normal da Bacia do Rio Guaratuba (Tabela 7, Figura 24) mostrou que o único mês que apresenta déficit hídrico foi agosto, com -2,75 mm. Em novembro, o excedente também foi pequeno, com apenas 3,16 mm. Nos demais meses, o excedente hídrico é alto, com destaque para os meses de janeiro e abril, com 134,04 mm e 124,16 mm respectivamente.

Tabela 7: BHC normal para a Bacia do Rio Guaratuba. Fonte de dados de precipitação média para série histórica de 1970 a 1994 (DAEE, 2009). CAD de 150 mm.

Mês	ETP (mm)	Kc	Etr (mm)	P (mm)	P-ETr (mm)	N.Ac. (mm)	ARM (mm)	ALT (mm)	ETR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
Jan	124,70	1,2	149,64	283,68	134,04	0,00	150,00	0,00	149,64	0,00	134,04
Fev	109,30	1,2	131,16	224,48	93,32	0,00	150,00	0,00	131,16	0,00	93,32
Mar	114,40	1,2	137,28	224,82	87,54	0,00	150,00	0,00	137,28	0,00	87,54
Abr	85,10	1,2	102,12	226,28	124,16	0,00	150,00	0,00	102,12	0,00	124,16
Mai	66,30	1,2	79,56	166,30	86,74	0,00	150,00	0,00	79,56	0,00	86,74
Jun	53,50	1,2	64,20	103,65	39,45	0,00	150,00	0,00	64,20	0,00	39,45
Jul	53,40	1,2	64,08	98,86	34,78	0,00	150,00	0,00	64,08	0,00	34,78
Ago	66,00	1,2	79,20	77,85	-1,35	-1,35	148,60	-1,50	76,35	-2,85	0,00
Set	79,30	1,2	95,16	150,67	55,51	54,16	150,00	1,35	95,16	0,00	54,16
Out	102,30	1,2	122,76	157,47	34,71	0,00	150,00	0,00	122,76	0,00	34,71
Nov	113,20	1,2	135,84	139,00	3,16	0,00	150,00	0,00	135,84	0,00	3,16
Dez	124,40	1,2	149,28	207,86	58,58	0,00	150,00	0,00	149,28	0,00	58,58
Ano	1091,90	1,2	1310,28	2060,91				-0,15	1310,28	0,00	750,78

Os dados mostram ainda que nesse período a média de precipitação anual total foi da ordem de 2061 mm, e que o excedente hídrico total anual foi de cerca de 751 mm.

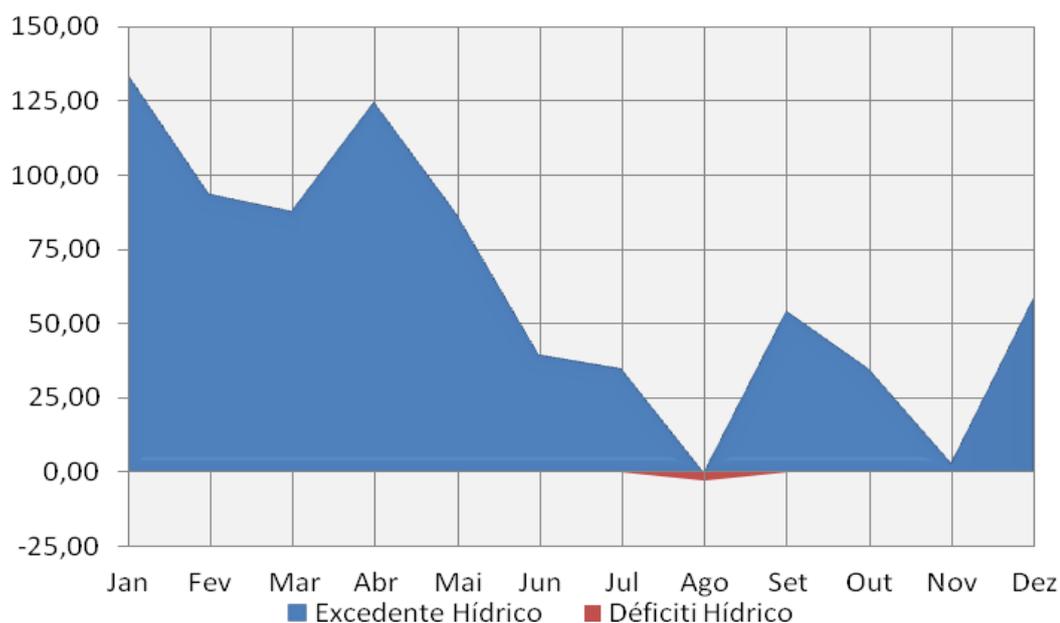


Figura 24: BHC normal para a bacia do Rio Guaratuba. Fonte de dados de precipitação média para série histórica de 1970 a 1994 (DAEE, 2009). CAD de 150 mm.

5.1.3.2 BHC Sequencial.

A tabela 8 e a figura 25 mostram que o comportamento da evapotranspiração obtida para o período de 2009 a 2011 segue basicamente o mesmo padrão da série histórica, com os menores valores no inverno e os mais elevados no verão, sendo as estações de outono e primavera os períodos intermediários. Contudo, a evapotranspiração atual (sequencial) é cerca de 20 mm superior à da série histórica (normal).

Em relação à evapotranspiração sequencial, o maior médio ocorreu no mês de dezembro, em amostras periódicas, porém com valor de 150 mm para a série histórica e de 190 mm para o período de monitoramento. Da mesma forma, os menores valores de evapotranspiração ocorreram nos meses de julho em ambos os períodos, com mínimo de 64,08 mm para a série histórica e de 70,19 mm para o

período de monitoramento. O acumulado médio total anual foi de 1310,28 mm para a série histórica e de 2330,55 mm para o período de monitoramento.

As temperaturas médias também variaram consideravelmente nos dois períodos. Enquanto a média anual da série histórica foi de 21,3 °C, a média do período de monitoramento foi de 26,2°C. No período de monitoramento, as maiores médias foram obtidas para o mês de novembro com cerca de 30°C, e as menores ocorreram em setembro, com 22,7°C. Na série histórica esses extremos foram de 25°C para o mês de março e de 16,9°C para julho.

Tabela 8: Evapotranspiração para a bacia do Rio Guaratuba. Dados de temperatura coletados em campo no período entre julho/2009 e agosto/2011.

		Qo	Tmed	NDP	ETP mm/mês	ETP mm/dia	Kc	ETr (ETP*Kc)	
2009	Jul	0,01	8,9	21,2	31	58,5	1,9	1,2	70,19
	Ago	0,01	10,5	23,3	31	75,7	2,4	1,2	90,81
	Set	0,01	13,1	22,3	30	87,4	2,9	1,2	104,93
	Out	0,01	15,1	24,0	31	112,3	3,6	1,2	134,81
	Nov	0,01	16,5	30,4	30	150,4	5,0	1,2	180,43
	Dez	0,01	17,1	29,8	31	158,0	5,1	1,2	189,56
2010	Jan	0,01	16,9	29,9	31	156,6	5,1	1,2	187,98
	Fev	0,01	16	23,5	28	105,4	3,8	1,2	126,47
	Mar	0,01	14,2	26,5	31	116,7	3,8	1,2	139,98
	Abr	0,01	11,9	28,3	30	100,9	3,4	1,2	121,02
	Mai	0,01	10	26,5	31	82,2	2,7	1,2	98,67
	Jun	0,01	8,3	27,6	30	68,6	2,3	1,2	82,32
	Jul	0,01	8,9	26,2	31	72,1	2,3	1,2	86,58
	Ago	0,01	10,5	24,0	31	78,2	2,5	1,2	93,84
	Set	0,01	13,1	23,1	30	90,8	3,0	1,2	108,94
	Out	0,01	15,1	26,6	31	124,3	4,0	1,2	149,14
	Nov	0,01	16,5	29,7	30	147,0	4,9	1,2	176,42
	Dez	0,01	17,1	29,6	31	157,0	5,1	1,2	188,45
2011	Jan	0,01	16,9	29,5	31	154,6	5,0	1,2	185,46
	Fev	0,01	16	27,8	28	124,5	4,4	1,2	149,45
	Mar	0,01	14,2	25,4	31	111,8	3,6	1,2	134,17
	Abr	0,01	11,9	25,6	30	91,4	3,0	1,2	109,67
	Mai	0,01	10	24,8	31	76,9	2,5	1,2	92,26
	Jun	0,01	8,3	25,6	30	63,7	2,1	1,2	76,49
	Jul	0,01	8,9	23,7	31	65,4	2,1	1,2	78,47
	Ago	0,01	10,5	23,5	31	76,5	2,5	1,2	91,79
	Total			26,2		1942,1	63,7		2330,55

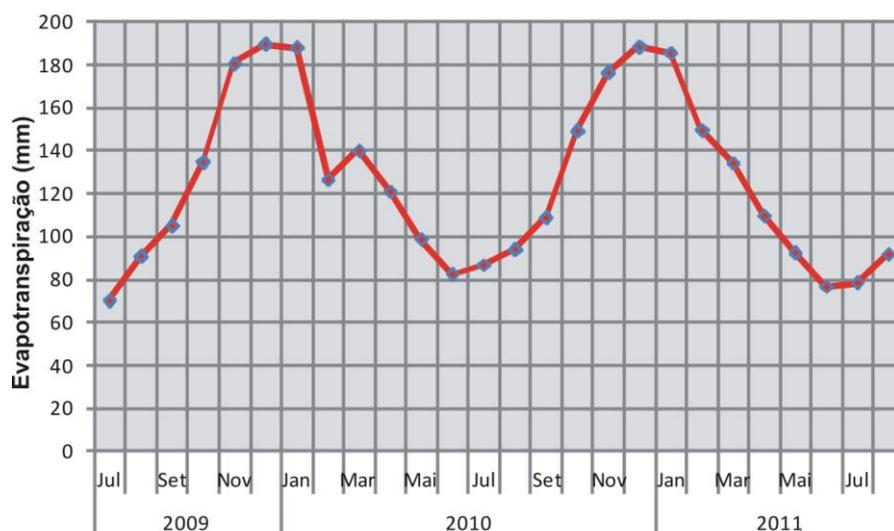


Figura 25: Curva de evapotranspiração para a Bacia do Rio Guaratuba. Dados de temperatura coletados em campo no período entre julho/2009 e agosto/2011.

Os resultados do BHC sequencial são apresentados na tabela 9 e na figura 26. Durante os meses de monitoramento, tal qual no BHC normal, houve períodos de déficit hídrico. Porém, não houve correspondência em relação aos meses de ocorrência. Na série histórica (BHC normal) o déficit hídrico ocorreu no mês de agosto. Em 2010, o mês em que o sistema perdeu mais água foi abril, quando o déficit hídrico atingiu um valor excepcional de -58,7 mm. Entretanto, o stress hídrico começou a diminuir já em maio, voltando a ficar excedente em agosto.

Em 2011 o déficit hídrico também abril de 2011 com -2,6 mm, mas atingiu seu pico em junho com -6,2 mm. Entretanto, nos dois meses de monitoramento que se seguiram, o sistema não retomou o excedente hídrico, que permaneceu “zerado”. Em 2009 não foi verificado déficit hídrico no período monitorado (julho a dezembro).

Todos os resultados sugerem defasagens importantes entre o período amostral e as séries históricas, tanto em relação aos valores de pluviosidade, temperatura e balanço hídrico, quanto em relação à variabilidade mensal e sazonal.

Tabela 9: BHC sequencial para a bacia do Rio Guaratuba. Dados de precipitação coletados entre julho/2009 e agosto/2011. CAD de 150 mm.

Ano	Mês	ETP (mm)	Kc	ETc (mm)	P (mm)	P-ETc (mm)	N.Ac. (mm)	ARM (mm)	ALT (mm)	ETR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
2009	Jul	58,5	1,2	70,2	221	151,1	0,0	150,0	0,00	70,2	0,0	151,1
	Ago	75,7	1,2	90,8	173	82,3	0,0	150,0	0,00	90,8	0,0	82,3
	Set	87,4	1,2	104,9	263	158,2	0,0	150,0	0,00	104,9	0,0	158,2
	Out	112,3	1,2	134,8	248	112,9	0,0	150,0	0,00	134,8	0,0	112,9
	Nov	150,4	1,2	180,4	237	56,6	0,0	150,0	0,00	180,4	0,0	56,6
	Dez	158,0	1,2	189,6	317	127,7	0,0	150,0	0,00	189,6	0,0	127,7
	Jan	156,6	1,2	188,0	227	38,6	0,0	150,0	0,00	188,0	0,0	38,6
	Fev	105,4	1,2	126,5	233	106,7	0,0	150,0	0,00	126,5	0,0	106,7
	Mar	116,7	1,2	140,0	328	187,9	0,0	150,0	0,00	140,0	0,0	187,9
2010	Abr	100,9	1,2	121,0	90	-30,6	-30,6	122,3	-27,7	62,3	-58,7	0,0
	Mai	82,2	1,2	98,7	90	-8,7	-39,3	115,5	-6,8	83,2	-15,5	0,0
	Jun	68,6	1,2	82,3	86	3,7	-34,6	119,1	3,6	82,3	0,0	0,0
	Jul	72,1	1,2	86,6	116	29,9	-1,0	149,0	29,9	86,6	0,0	0,0
	Ago	78,2	1,2	93,8	125	31,3	0,0	150,0	1,0	93,8	0,0	30,3
	Set	90,8	1,2	108,9	220	111,1	0,0	150,0	0,00	108,9	0,0	111,1
	Out	124,3	1,2	149,1	217	67,4	0,0	150,0	0,00	149,1	0,0	67,4
	Nov	147,0	1,2	176,4	210	33,2	0,0	150,0	0,00	176,4	0,0	33,2
	Dez	157,0	1,2	188,5	305	116,7	0,0	150,0	0,00	188,5	0,0	116,7
2011	Jan	154,6	1,2	185,5	216	30,4	0,0	150,0	0,00	185,5	0,0	30,4
	Fev	124,5	1,2	149,5	198	49,0	0,0	150,0	0,00	149,5	0,0	49,0
	Mar	111,8	1,2	134,2	168	34,3	0,0	150,0	0,00	134,2	0,0	34,3
	Abr	91,4	1,2	109,7	81	-28,5	-28,5	124,0	-26,0	107,1	-2,6	0,0
	Mai	76,9	1,2	92,3	69	-23,7	-52,2	105,9	-18,1	86,7	-5,6	0,0
	Jun	63,7	1,2	76,5	58	-18,5	-70,7	93,6	-12,3	70,3	-6,2	0,0
	Jul	65,4	1,2	78,5	97	18,1	-44,2	111,7	18,1	78,5	0,0	0,0
	Ago	76,5	1,2	91,8	129	37,4	-0,9	149,1	37,4	91,8	0,0	0,0
	Total	1344,8		1613,8	2630	1016,2				1539,6	-74,2	1021,93

Os maiores excedentes hídricos obtidos no período de monitoramento ocorreram nos meses de março/2010, com 187,9 mm e de setembro e julho de 2009, respectivamente com 158,2 mm e 151,1 mm. Na série histórica, os maiores excedentes foram menores e observados nos meses de janeiro, com 134,04 mm e abril, com 124,16 mm.

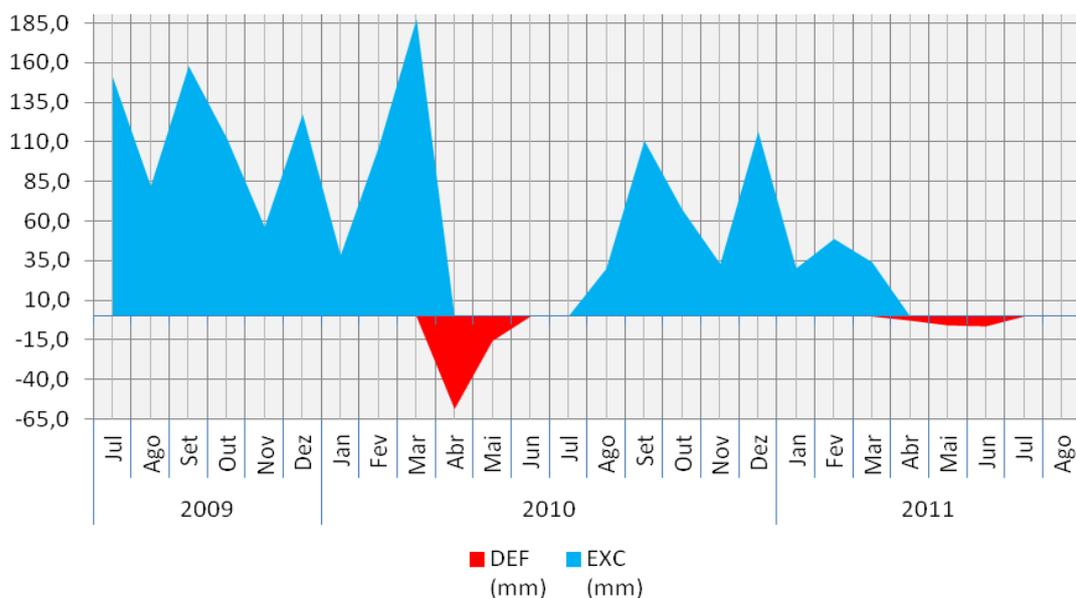


Figura 26: BHC sequencial para a bacia do Rio Guaratuba. Dados de precipitação coletados entre julho/2009 e agosto/2011. CAD de 150 mm.

5.1.4. Comparação Entre as Médias Climatológicas

5.1.4.1. Pluviosidade

Comparando as médias dos registros obtidos em campo com as médias da série histórica entre 1970 e 1994, do posto E2-125 do DAEE (localização do posto na figura 1), verificam-se algumas diferenças marcantes (Figura 27).

A média do período amostral esteve ligeiramente mais baixa do que a média histórica do DAEE nos meses de janeiro, fevereiro, abril, maio e junho (verão, outono e parte do inverno), sendo março a exceção. A partir de julho, a média do período amostral esteve sempre acima da média histórica do DAEE.

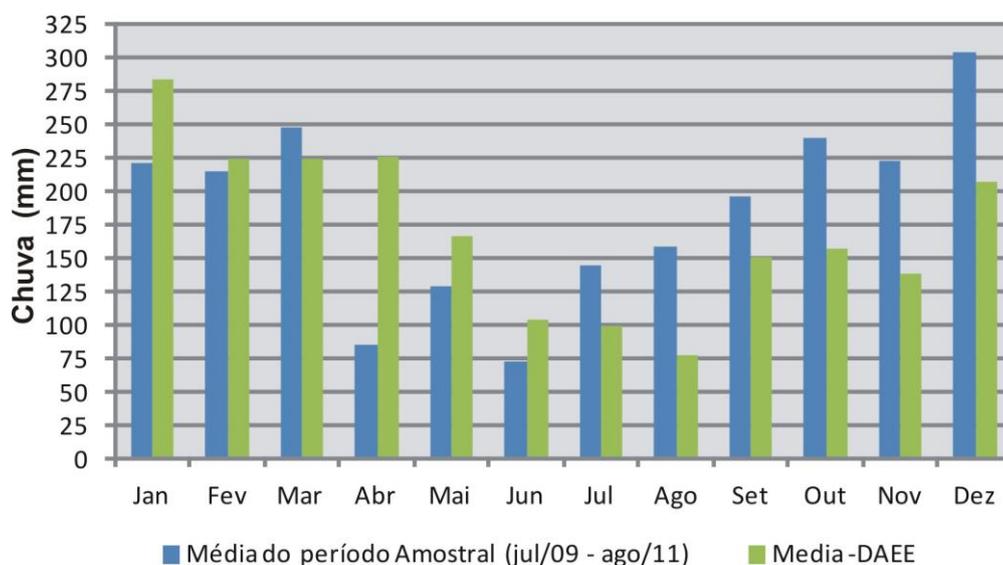


Figura 27: Média anual da pluviosidade registrada nos pluviômetros da Bacia do Rio Guaratuba durante julho de 2009 e agosto de 2011. Média histórica do posto E2-125, para o período 1970-1994 (fonte: DAEE, 2009).

Observa-se um deslocamento do período de maiores volumes de chuva ao longo do ano, quando comparados os dados da média do período amostral com os da média histórica do DAEE. Na média histórica os maiores volumes de chuva ocorrem nos quatro primeiros meses do ano, durante o verão e parte do outono. A partir disso, há uma queda atingindo valores mais baixos em agosto, a após este mês, ocorre a ascensão do volume de chuva.

Todavia, na média do período amostral, os primeiros meses do ano estiveram abaixo da média histórica, sendo que abril, um dos meses com menor índice de chuva, apresenta expressiva disparidade de chuva acumulada. Mas abril não é o único mês com valores baixos, pois junho esteve abaixo de 75 mm e a partir deste mês o volume de chuva já começa a elevar-se, superando os dados da média histórica do DAEE.

5.1.4.2. Temperatura do Ar (T) e Umidade Relativa do Ar

Comparando a média anual dos dados de T do ar registrados na área de estudo, com a média dos dados de T da Base Aérea de Santos, serie histórica de 1961 a 1990 (INMET) que é o posto mais próximo da região estudada, é constatado que a T esteve mais elevada nestes 24 meses de estudo comparada à T média para a região. Mesmo estando mais elevada, a T registrada em campo possui praticamente a mesma distribuição ao longo dos meses, em relação à média de 1961 a 1990. As exceções são janeiro, maio e junho (Figura 28).

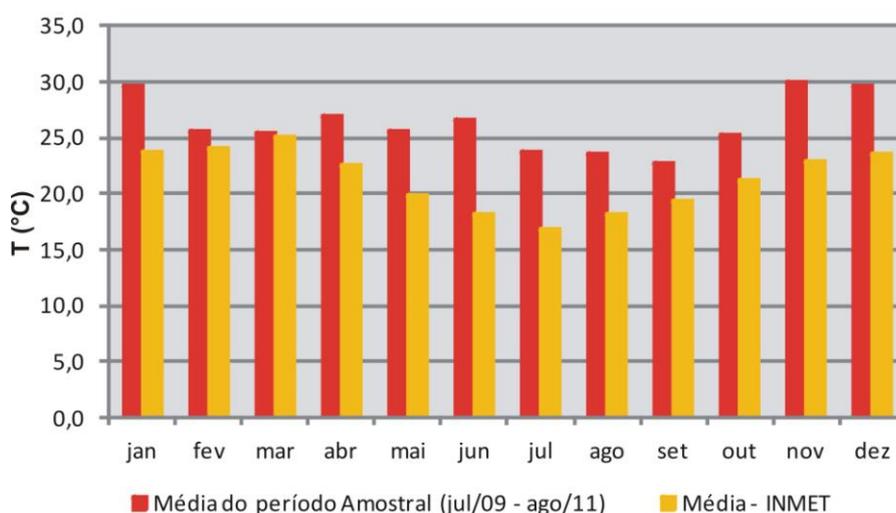


Figura 28: Média anual da temperatura do ar registrada na Bacia do Rio Guaratuba durante julho de 2009 e agosto de 2011. Média dados de temperatura do ar/série histórica de 1961 a 1990, INMET.

5.1.4.3. Balanço Hídrico Climatológico (BHC)

5.1.4.3.1. Evapotranspiração

A figura 29 apresenta as duas curvas de evapotranspiração para a área de estudo. A primeira refere-se ao cálculo da evapotranspiração realizados a partir dos dados de temperatura do ar da série histórica de 1961 a 1990, tal como está apresentado na figura 24. A segunda curva expressa o cálculo da evapotranspiração

efetuado a partir da média anual dos dados de temperatura do ar registrados na Bacia do Rio Guaratuba ao longo dos 24 meses de monitoramento.

Comparando as duas curvas, fica claro que ambas possuem o mesmo desenho, em forma de parabólica invertida. O que também chama a atenção, é a diferença entre os valores mensais de evapotranspiração.

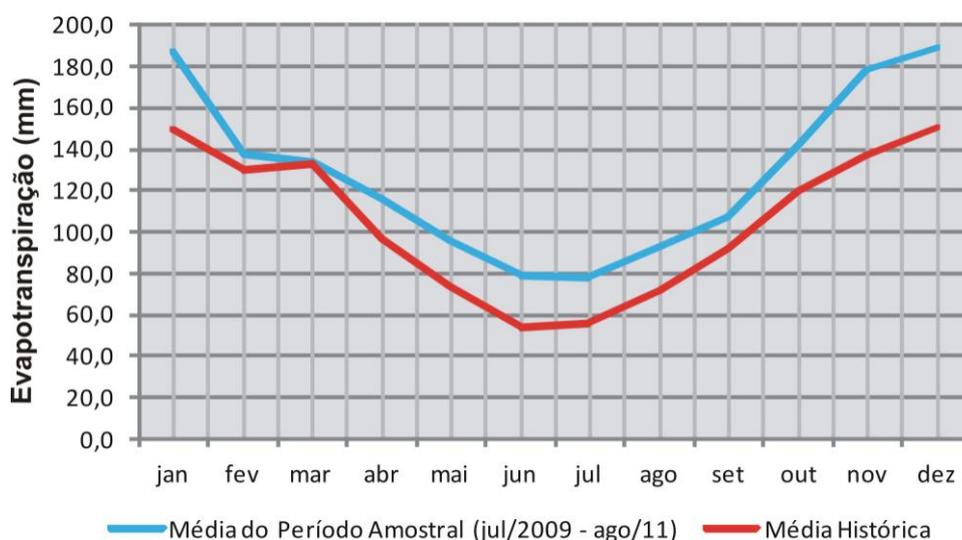


Figura 29: Curvas de evapotranspiração para a Bacia do Rio Guaratuba, com dados de temperatura coletados em campo no período entre julho/2009 e agosto/2011, e de evapotranspiração para a bacia do Rio Guaratuba. (Fonte: dados de temperatura do ar/série histórica de 1961 a 1990, INMET).

O mês de dezembro é o que apresenta maior evapotranspiração entre ambas, mas enquanto a média histórica marca 150 mm a média do período amostral marca 190 mm, possuindo uma diferença de 41 mm. O mês com menor valor de evapotranspiração na média é junho, com 71,1 mm, e 78,4 mm, os meses de julho é o que possui menor valor taxa de evapotranspiração, com uma diferença de 7,3 mm.

Os únicos meses que apresentam valores muito próximos são: março, que apresenta 134,2 mm na média do período amostral e 132,6 mm na média histórica e fevereiro, que obteve uma pequena diferença de 8,4 mm, com 138 mm no período amostral e 129,6 na média histórica.

Tanto a curva que representa os valores da média histórica quanto a curva que representa a média do período amostral apresentam os valores mais altos durante o verão. Após esta estação, os valores descendem até o inverno e voltam a subir (após atingir seu ponto inferior), durante a primavera até o seu ápice no verão. Portanto, os registros de temperatura do ar obtidos em campo condizem com a normal climatológica da região, no que tange à distribuição temporal dos valores, mas os dados de campo apresentaram anomalia positiva de temperatura do ar durante o período amostral.

5.1.4.3.2. Comparação Entre o BHC Normal e a Média do BHC Sequencial

Aqui já foi apresentado o BHC normal e o BHC sequencial para um período de 24 meses, sendo comparados os respectivos períodos de déficit e excedente hídrico. Já a figura 30 compara o BHC normal (com dados de média histórica de pluviosidade) com o BHC elaborado a partir da evapotranspiração feita com a média dos dados do período de monitoramento (temperatura do ar) e da pluviosidade média também do período de monitoramento (jul/09 a ago11).

Assim como verificado no BHC sequencial, a média anual do BHC sequencial apresenta dois períodos de déficit hídrico, em ambos ocorrem em períodos diferentes do BHC normal. Enquanto que o BHC normal tem déficit em agosto, no BHC sequencial, o déficit ocorre em abril de 2010 e junho de 2011, e estes meses se repetem na média anual do BHC sequencial.

Na média anual do BHC sequencial, o excedente hídrico superior é o mês de dezembro, com o valor de 115 mm, seguido por março com 114 mm. Em abril, o valor do déficit é -56,8 mm e em junho é -14,2 mm. Em maio, houve uma pequena recuperação de 7 mm de água no sistema.

A diferença mais marcante entre a média histórica e a média dos dados do período de monitoramento é o deslocamento do período seco de agosto (apenas um mês) para o intervalo entre abril e junho, (acumulando três meses). Janeiro é possui muito mais excedente hídrico na média histórica, enquanto que dezembro foi ligeiramente mais úmido em no período de monitoramento.

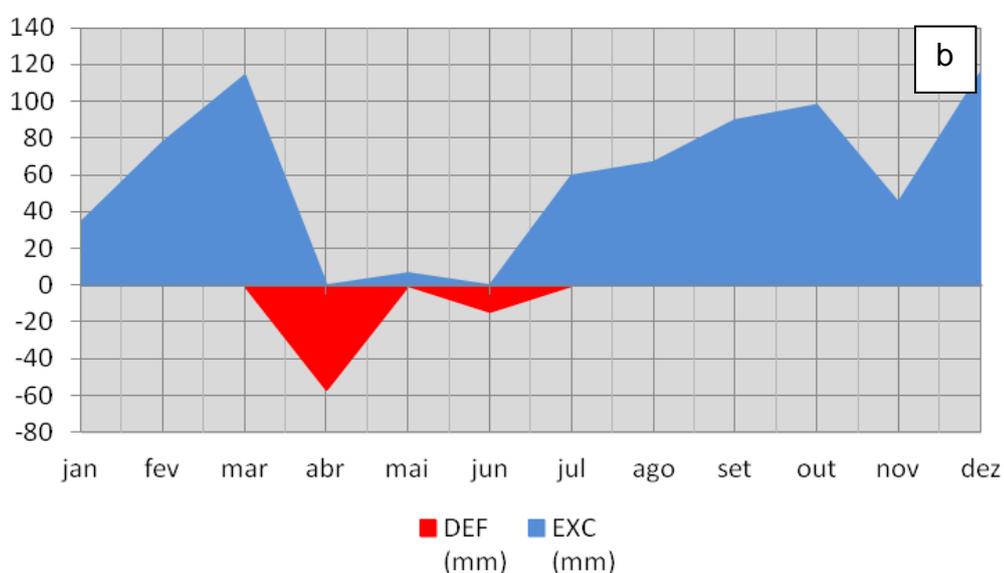
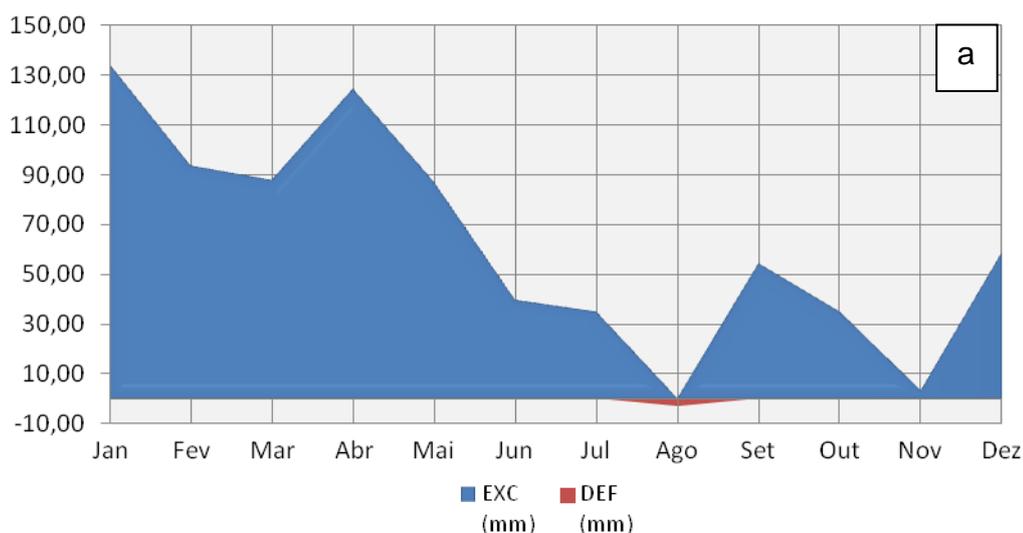


Figura 30: (a) BHC normal para a bacia do Rio Guaratuba. Fonte de dados de precipitação média para série histórica de 1970 a 1994 (DAEE, 2009). CAD de 150 mm. (b) BHC sequencial para a bacia do Rio Guaratuba. Dados de precipitação coletados entre julho/2009 e agosto/2011. CAD de 150 mm.

5.2. Caracterização do Nível do Lençol Freático

5.2.1. Caracterização dos Ambientes

A Figura 31a ilustra o perfil geológico e pedológico do Piez-A1, localizado mais próximo à Praia de Boracéia, no sub-bioma LHTb/FbR (Figuras 5 e 7). No dia da perfuração do poço, a zona sub-saturada iniciou-se a 0,30 m de profundidade com o NA a 0,40 m. O poço de monitoramento tem profundidade total de 1,50 m. O nível hidrostático foi encontrado em neossolo quartzarênico de cor ocre, com areias finas. A 0,70 m de profundidade, foi encontrada areia muito fina, bem selecionada e de cor cinza clara.

O Piez-A2 (Figura 31b) foi instalado no sub-bioma LHTb/FaR (Figuras 5 e 7). A zona sub-saturada começou a partir de 0,35 m de profundidade. O NA marcado a 0,45 m de profundidade, junto ao horizonte E Álbico, formado por areias muito finas esbranquiçadas.

Nessa área observou-se a presença de Espodossolo, entre 0,90 m de profundidade até pelo menos 1,60 m de profundidade. A base do poço de monitoramento está a 1,50 m de profundidade.

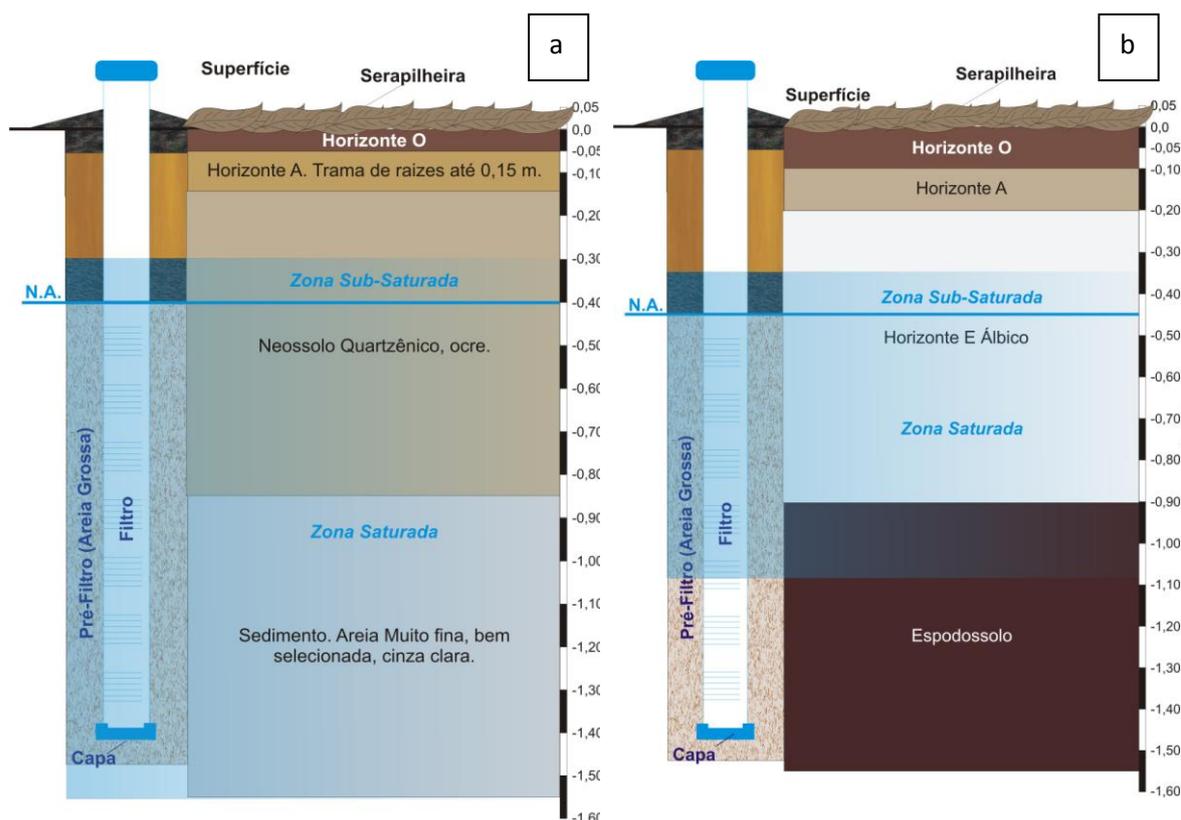


Figura 31: (a) Perfil esquemático do Piezômetro A1, em LHTb/FbR. (b) Perfil esquemático do Piezômetro A2, em LHTb/FaR.

O poço de monitoramento Piez-B (Figura 32a) se encontra no sub-bioma LHTa/FaR (Figuras 5 e 7). A zona sub-saturada está a 0,30 m de profundidade e o NA aparece a 0,45 m. O horizonte espodódico observado entre 1,10 m até pelo menos 1,75 m de profundidade. O poço de monitoramento tem 1,70 m de profundidade.

A figura 32b mostra o Piez-C, que está no sub-bioma LPTb/FaR. O horizonte espodódico apareceu entre 0,80 e 1,65 m. Foi possível notar a existência de duas zonas sub-saturadas: a primeira, suspensa começa entre 0,30 m e 0,70 m de profundidade, associada a um horizonte espódico dúbico (Bhm ou *orstein*), que se inicia a 0,50m, a segunda zona saturada foi encontrada a 1,55 m de profundidade, com o NA marcado em 1,75 m. A zona sub-saturada suspensa foi causada pelas chuvas intensas que ocorreram nos dias que antecederam à sondagem, e cuja

infiltração foi retardada pelo horizonte *orstein*. A base deste poço está a 2,90 m de profundidade.

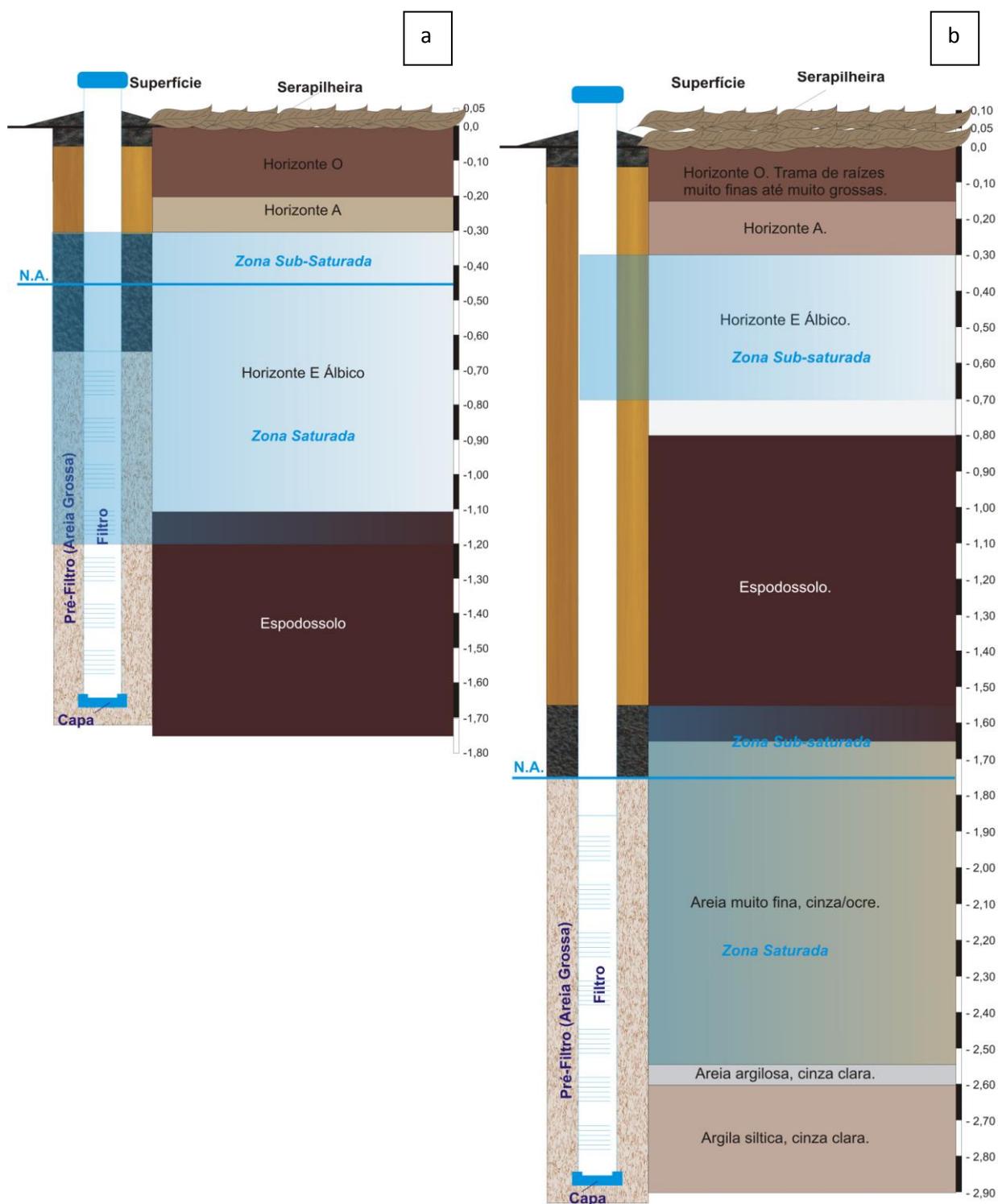


Figura 32: (a) Perfil esquemático do Piez-B, em LHTa/FaR. (b) Perfil esquemático do Piez-C, em LPTb/FaR.

O poço de monitoramento E1 (Figura 33a) está sobre LPTa/FaR, no interior do CxLPTa/LCD-CxFaR/FPa. Observou-se um Espodossolo espesso a partir de 0,90 m até a base da perfuração (2,30 m). A zona sub-saturada teve início a 0,40 m de profundidade e se estendeu até o NA a 1,20 m. Este poço de monitoramento tem profundidade de 2,30 m. Também neste caso, a amplitude da zona sub-saturada deve estar condicionada à ocorrência de muita chuva nos dias que antecederam à instalação deste poço.

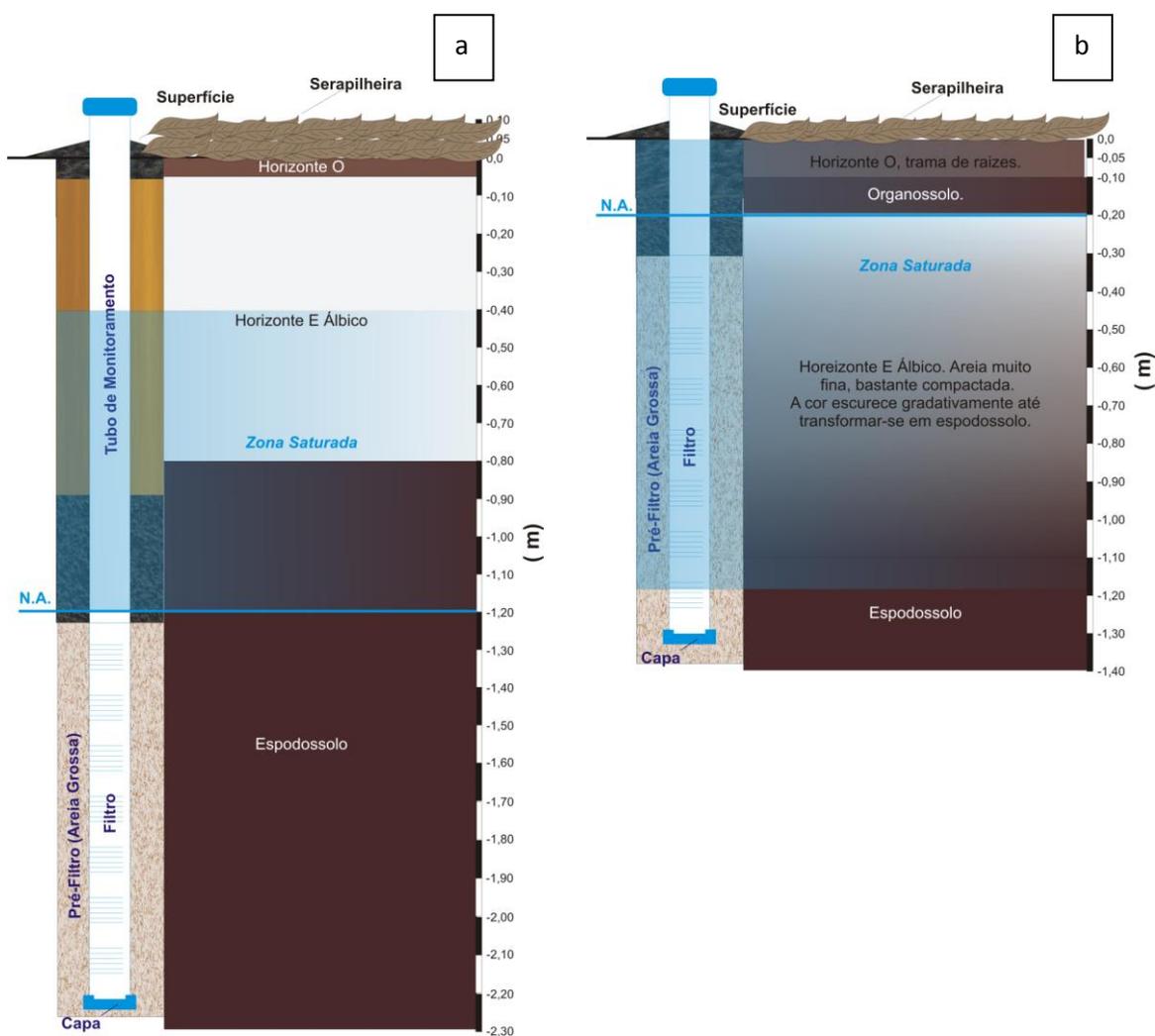


Figura 33: (a) Perfil esquemático do Piez-E1, em LPTa/FaR. (b) Perfil esquemático do Piez-E2, em LCD/FaRu.

O poço de monitoramento E2 (Figura 33b) também está sobre LCD/FaR, no interior da unidade CxLPTa/LCD-CxFaR/FaRu. Foi instalado próximo ao contato com LPTa/FaR, para permitir que o poço ficasse sustentado nas areias marinhas que se encontram abaixo dos sedimentos organo-pelíticos. A zona sub-saturada é aflorante e o NA no dia da instalação estava a 0,20 m de profundidade. Este poço de monitoramento tem 1,35 m de profundidade.

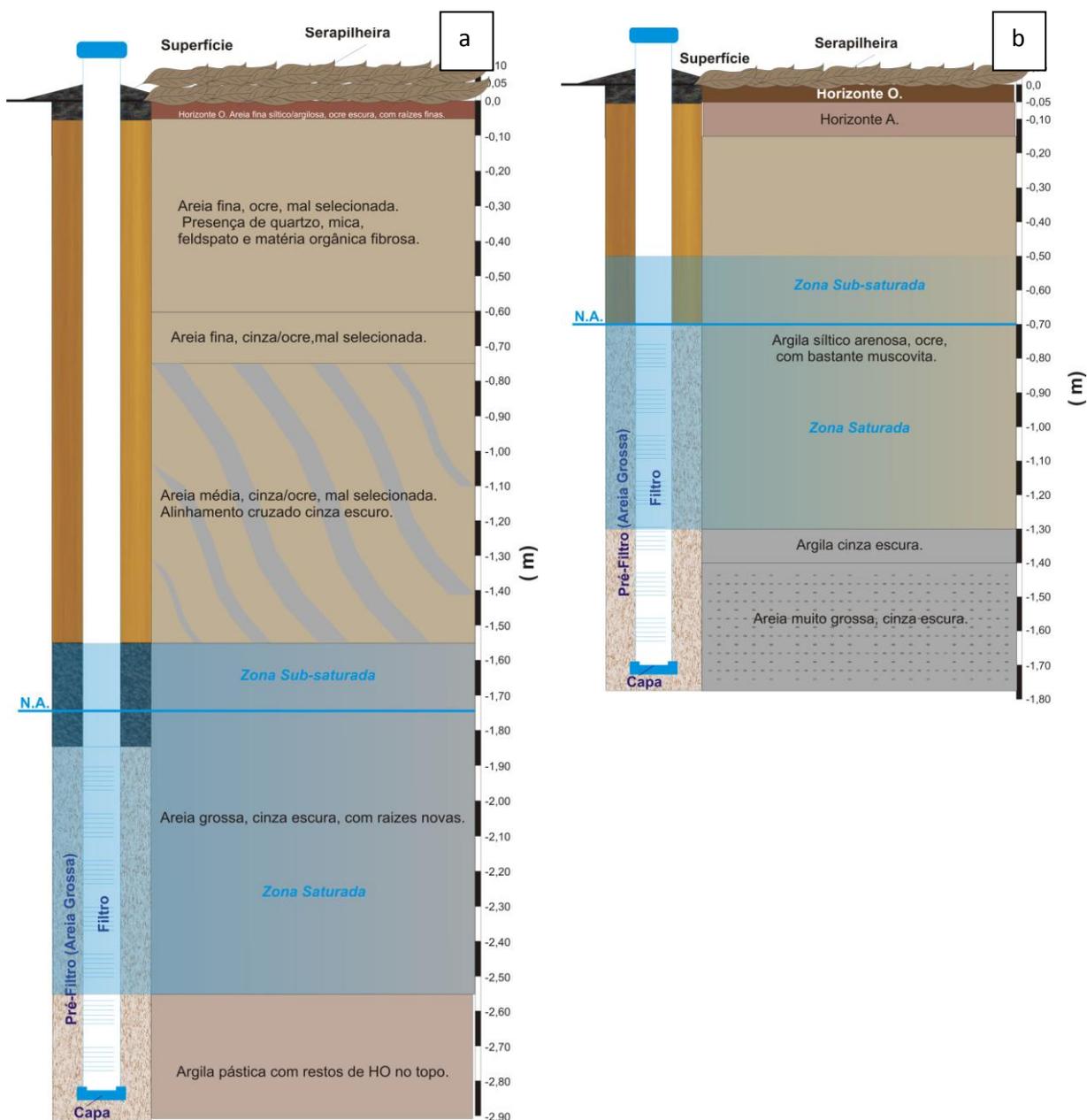


Figura 34: (a) Perfil esquemático do Piez-F, em LPF/FAL. (b) Perfil esquemático do Piez-G, em LMP/FTr.

O Piez-F está no sub-bioma LPF/FAL. A zona sub-saturada teve início a 1,55 m de profundidade e o NA encontrava-se a 1,75 m. A zona saturada estava limitada até a profundidade de 2,55 m, pois neste nível foi encontrada uma camada de argila plástica. O poço de monitoramento tem 2,90 m de profundidade (Figura 34a).

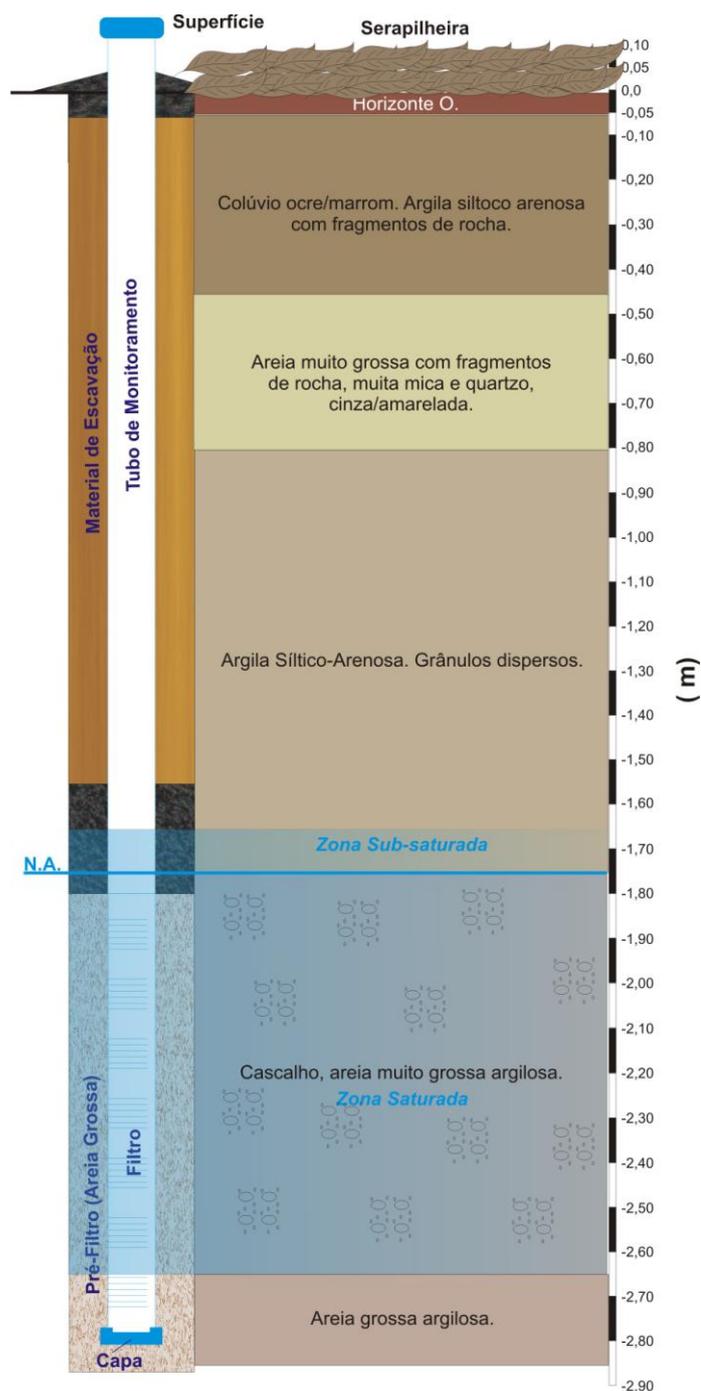


Figura 35: Perfil esquemático do Piez-H, em LCR/FTTr.

A Figura 34b apresenta o Piez-G, o qual foi instalado sobre o sub-bioma LMP/FTr. A zona sub-saturada se inicia a 0,50 m de profundidade, com o N.A. a 0,70 m. Este poço de monitoramento tem 1,80 m de profundidade.

O Piez-H está no sub-bioma LCR/FTR (Figura 35). A zona sub-saturada inicia-se a 1,65 m de profundidade, com NA a 1,75 m. O poço de monitoramento tem 2,80 m de profundidade.

5.2.2. Nível do Lençol Freático

A tabela 10 mostra a variação mensal do nível do lençol freático (NA) e as figuras 36 e 37 mostram as médias mensais dos NA medidos nas UQs da Bacia do Rio Guaratuba.

Os piezômetros A1 e A2 (LHTb) apresentam NA com profundidade variando entre -0,94 m (maio/2010) e -0,40 m (outubro/2010). O piezômetro B (LHTa) possui NA mais raso, tendo profundidade maior em junho/2011 (-0,72 m) e seu nível mais raso em outubro/2010), onde foi registrado o nível piezométrico de 0,10 m. No piezômetro C (LPTb), a profundidade do NA esteve abaixo de -2,00 m apenas em outubro/2009 com -1,95 m, e em dezembro/2010 com -1,98 m. O registro mais profundo visto neste piezômetro foi em maio/2010, quando foi registrado -2,24 m.

Na UQ CxLPTa/LCD, sobre LPTa, o piezômetro E1 apresenta NA relativamente raso, variando pouco, entre -0,38 em janeiro/2010 e -0,99 m maio/2010. Na mesma UQ, sobre LCD, o piezômetro E2 é o que tem NA mais raso de toda a bacia, pois a zona sub-saturada está sempre aflorante. O nível do NA variou pouco ao longo do período de monitoramento, sendo o mais profundo registrado em agosto/2010 (-0,17 m) e o mais raso em dezembro/2010 (-0,05 m).

O piezômetro F foi instalado sobre LPF, e também possui NA profundo, com números que variaram entre -1,89 m em maio/2010 e -1,24 m em outubro/2009. Próximo à encosta (LMP) o piezômetro G apresentou NA aflorante nos diversos canais que recortam a esta UQ, tendo a profundidade mínima de -0,98 m em junho/2010 e a mais elevada em janeiro /2010. Por último (em LCR) o piezômetro H apresentou NA sempre abaixo de -1,00 m de profundidade. Seu registro mais profundo foi em julho/2010 (-1,83 m) e o mais raso foi em outubro/2009 (-1,27 m).

Tabela 10: Registros de variação vertical do nível do lençol freático (NA). Monitoramento realizado entre agosto/2009 e agosto/2011.

	Mês	A1	A2	B	C	E1	E2	F	G	H
2009	Ago	-0,75	-0,74	-0,57	-2,10	-0,90	-0,12	-1,77	-0,83	-1,64
	Set	-0,45	-0,58	-0,19	-2,01	-0,43	-0,10	-1,57	-0,60	-1,66
	Out	-0,40	-0,48	-0,10	-1,95	-0,37	-0,07	-1,24	-0,43	-1,27
	Nov	-0,70	-0,68	-0,48	-2,12	-0,74	-0,10	-1,58	-0,71	-1,65
	Dez	-0,71	-0,66	-0,45	-2,09	-0,74	-0,11	-1,55	-0,59	-1,53
2010	Jan	-0,57	-0,58	-0,49	-2,02	-0,38	-0,09	-1,66	-0,45	-1,39
	Fev	-0,76	-0,69	-0,45	-2,10	-0,71	-0,10	-1,55	-0,72	-1,60
	Mar	-0,75	-0,63	-0,40	-2,02	-0,65	-0,08	-1,50	-0,55	-1,49
	Abr	-0,76	-0,63	-0,57	-2,18	-0,65	-0,12	-1,65	-0,61	-1,58
	Mai	-0,94	-0,99	-0,58	-2,24	-0,99	-0,16	-1,89	-0,90	-1,76
	Jun	-0,99	-1,05	-0,62	-2,23	-0,98	-0,13	-1,84	-0,98	-1,74
	Jul	-0,72	-0,81	-0,55	-2,12	-0,91	-0,10	-1,67	-0,93	-1,83
	Ago	-0,67	-0,63	-0,40	-2,09	-0,80	-0,17	-1,56	-0,83	-1,78
	Set	-0,48	-0,45	-0,35	-2,04	-0,67	-0,14	-1,62	-0,77	-1,68
	Out	-0,52	-0,55	-0,40	-2,07	-0,45	-0,10	-1,32	-0,55	-1,38
	Nov	-0,66	-0,60	-0,57	-2,18	-0,69	-0,10	-1,45	-0,81	-1,54
	Dez	-0,65	-0,52	-0,39	-1,98	-0,65	-0,05	-1,38	-0,55	-1,46
2011	Jan	-0,49	-0,45	-0,40	-2,00	-0,42	-0,10	-1,54	-0,48	-1,56
	Fev	-0,69	-0,65	-0,52	-2,18	-0,67	-0,12	-1,43	-0,68	-1,55
	Mar	-0,72	-0,77	-0,56	-2,14	-0,72	-0,15	-1,64	-0,50	-1,55
	Abr	-0,75	-0,70	-0,62	-2,22	-0,78	-0,10	-1,71	-0,57	-1,52
	Mai	-0,87	-0,89	-0,68	-2,19	-0,90	-0,15	-1,95	-0,98	-1,86
	Jun	-0,87	-0,99	-0,72	-2,25	-0,86	-0,15	-1,95	-0,92	-1,88
	Jul	-0,69	-0,77	-0,49	-2,05	-0,87	-0,10	-1,52	-0,81	-1,76
	Ago	-0,74	-0,69	-0,68	-2,15	-0,88	-0,15	-1,69	-0,92	-1,85
	Média	-0,69	-0,69	-0,49	-2,11	-0,71	-0,11	-1,61	-0,71	-1,62
	Desv. Padrão	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2	0,0	0,2	0,2	0,2

Analisando as curvas de variação de NA, observa-se que no período compreendido pelo inverno e primavera de 2009 o NA esteve elevado em relação aos meses posteriores. Essa característica é observada principalmente nos NA das UQs LHTb e LHTa, onde os níveis piezométricos não estiveram muito profundos ao longo período de monitoramento.



Figura 36: Curva de variação vertical do nível do lençol freático (NA). Monitoramento realizado entre agosto/2009 e agosto/2011.

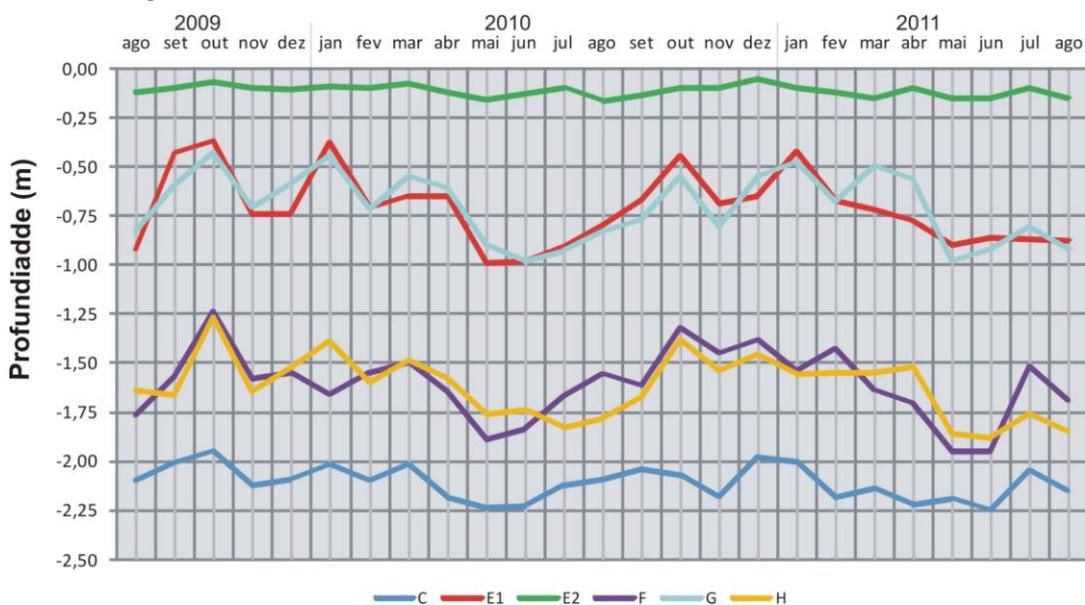


Figura 37: Curva de variação vertical do nível do lençol freático (NA). Monitoramento realizado entre agosto/2009 e agosto/2011.

As UQs mais antigas, com idade pleistocênica, possuem os NA mais profundos, sendo estes LPTb, que é o mais profundo de todos, LPF e LCR. A exceção ficou por conta de LPTa, que são Terraços Marinhos altos Pleistocênicos, mas o nível de NA não passou de -1,00 (registrado em maio/2010). Nesta UQ, foi encontrado um horizonte espódico a -0,90 m de profundidade, e não foi possível ultrapassar seu limite, sendo perfurado até -2,30 m. Este tipo de horizonte tem como característica a rigidez e foi observado em campo que o nível de NA é condicionado pela presença do espodossolo. Em análises feitas por Moreira (2007) e Souza *et al.* (2009), em LPTa foi registrado o nível de NA > 3,0 m.

No piezômetro C (LPTb) foi possível ultrapassar a camada de horizonte espódico, que possuía cerca de 0,85 m de largura, antes deste horizonte havia uma zona sub-saturada, retida pelo espodossolo (Figura 32b).

Comparando as curvas de nível de NA com o BHC sequencial (Figura 26), registrados ao longo dos 24 meses de monitoramento, fica evidente a perda de água que ocorreu no solo durante as baixas de excedente hídrico e, principalmente, nos períodos onde foi identificada deficiência hídrica na área de estudo.

De agosto para setembro de 2009, houve um aumento do excedente hídrico de cerca de 75 mm, e nesse mesmo período o nível do NA elevou-se em todas as UQs. Entre setembro/2010 e novembro/2010, o excedente hídrico caiu de 160 mm para 60 mm, sendo registrada uma queda nos valores de NA no mesmo período.

Entre maio de julho de 2010 e maio e agosto de 2011, quando ocorre déficit hídrico, os níveis de NA observados no monitoramento estiveram extremamente profundos. Conforme o sistema passava a receber mais água, com os acúmulos de excedente hídrico, os NA também voltavam a elevar-se. O único NA

que não mostrou resposta significativa ao BHC sequencial foi o registrado junto ao piezômetro E2 (em LCD).

A variação dos níveis de NA não foram tão marcantes quanto à variação de pluviosidade, que apresentou um desvio padrão altíssimo, de 74 (Pluv 1) a 92,8 (Pluv 7) (Tabela 2) . Enquanto isso, o desvio padrão dos níveis de NA estiveram todos próximos à média. Isso indica que existe um tempo de resposta ao acréscimo e à retirada de água no sistema (Tabela 10).

5.3. Análise Morfométrica

A Bacia do Rio Guaratuba é do tipo exorreica, pois o escoamento dos canais se faz de modo contínuo, sempre em direção ao oceano. Sucedendo uma rede hidrográfica densa entre no planalto e a escarpa da Serra do Ma, a planície costeira caracteriza-se por uma rede de drenagem com menor densidade.

Ao adentrar a planície costeira, a drenagem encontra, partindo da encosta até a praia, depósitos de encosta com sedimentos coluviais, de tálus e de leques aluviais, de idade Pleistocênica a atual, constituídos de sedimentos de matriz areno-siltico-argilosa com grânulos dispersos até matacões (LCR), depósitos mistos não individualizados formados por sedimentos aluviais e colúvios de baixada, de idade Holocênica a atual (LMP), depósitos fluviais constituídos de sedimentos arenosos, silticoarenosos e cascalhos, de idade Pleistocênica (LPF), Complexo formado por LPTa erodido e entremeado por depósitos Paleolagunares-Estuarinas Holocênicos (Cx-LPTa/LCD), depósitos Paleolagunares-Estuarinas a lacustres pelíticos (podendo estar recobertos por colúvios de baixada e depósitos aluviais), constituídos de sedimentos pelítico-orgânicos a areno-siltico-argilosos, de idade Holocênica a atual (LCD), depósitos marinhos constituídos de areias muito finas a

finas, de idade Pleistocênica mais jovem, podendo estar recobertos por depósitos dunares Holocênicos (LPTb), depósitos marinhos constituídos de areias muito finas a finas de idade Holocênica, às vezes recobertos por depósitos dunares Holocênicos (LHTa), e depósitos marinhos constituídos de areias muito finas a finas de idade Holocênica, às vezes recobertos por depósitos dunares Holocênicos a atuais (LHTb), de acordo com as descrições de Souza *et al.* (2009) (Figura 38).

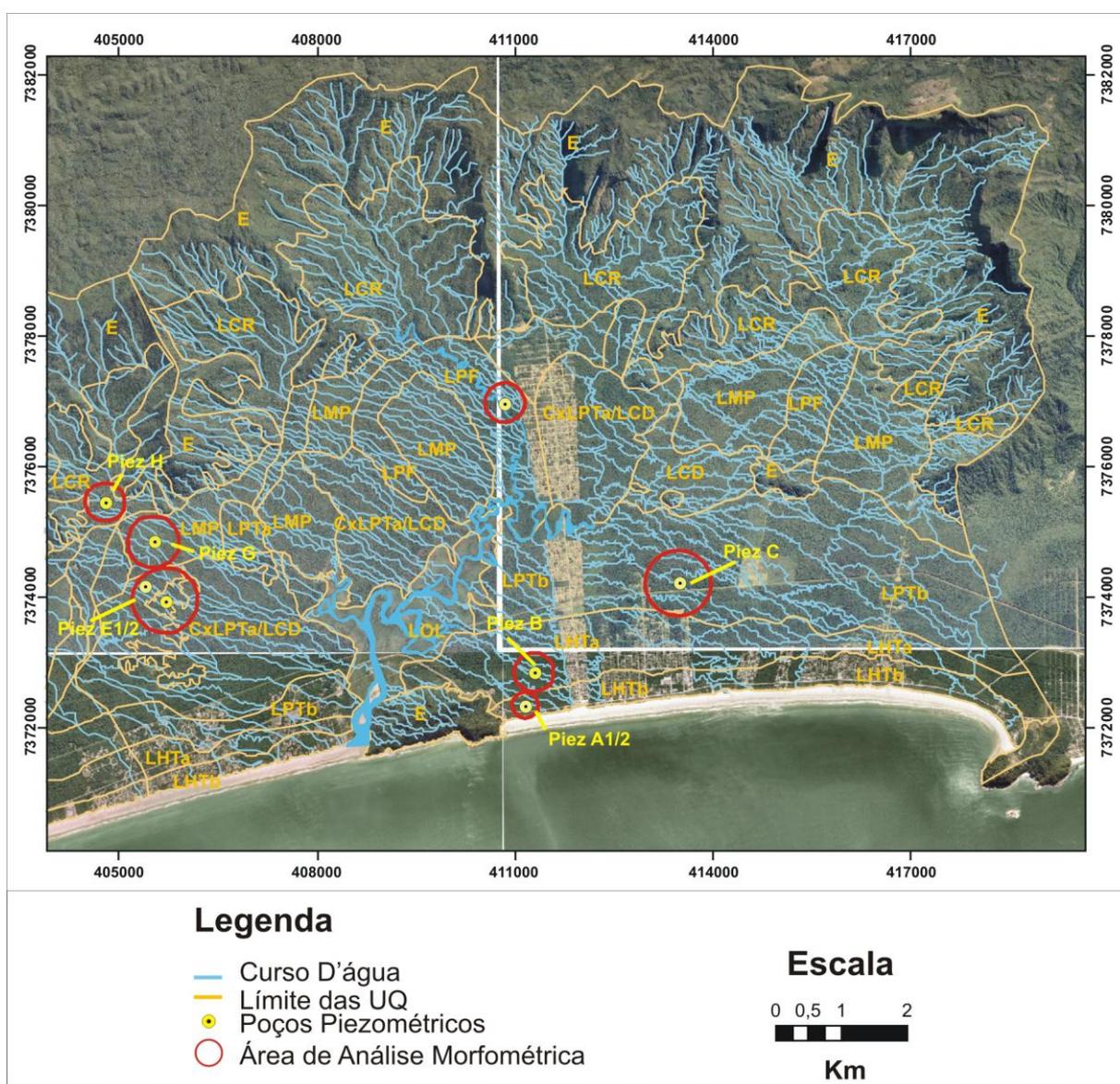


Figura 38: Mapa da rede de drenagem fotointerpretada da Bacia do Rio Guaratuba (base fotografias aéreas de 2001 – Instituto Florestal, PPMA/KfW).

Em LCR, a rede de drenagem apresenta-se em transição de treliça, pois ainda escoava sobre as rampas de colúvio, tálus e leques aluviais, logo se tornando paralela, ao adentrar e percorrer as UQ constituídas por sedimentos arenosos, até desaguar no oceano. Na UQ LMP, esperava-se um emaranhado de canais, com difícil identificação de suas trajetórias, porém, logo ao deixarem a encosta, os rios mostraram-se bem estruturados, drenando na direção do Rio Guaratuba (NW-SE).

Na borda oeste do condomínio Morada da Praia, na altura dos depósitos fluviais (LPF), observou-se que a esta urbanização bloqueou a drenagem, fazendo com que muitos canais convirjam naquele ponto.

No lado oeste do condomínio, a drenagem mostra-se bem mais estruturada, drenando paralelamente no sentido NW-SE. Diferentemente, no lado leste do condomínio a drenagem mostra-se pouco estruturada, pois os canais correm quase que paralelamente à linha de costa, até o limite norte de LPTb, e após este ponto, drenam voltam a serem drenados no sentido NW-SE.

Cada amostra circular foi caracterizada como uma microbacia, sendo iniciada a contagem dos canais no interior de cada amostra. A área amostral circular analisada de cada UQ foi de: LHTb = 0,1 km²; LHTa = 0,3 km²; LPTb = 0,8 km²; CxLPTa/LCD = 0,8 km²; 0,3 km²; LMP = 0,5 km²; e LCR = 0,3 km². As áreas possuem tamanhos diferentes para serem adequadas aos tamanho de cada UQ..

Nenhuma das UQ apresentou rios de ordem hierárquica (Strahler, 1957) superior à 3^a, dentro do perímetro das amostras circulares. A UQ LHTb possui apenas 2 canais de 1^a. A UQ LHTa possui 4 canais de 1^a ordem, 2 de 2^a e 2 de 3^a ordem. A LPTb possui 4 canais de 4^a ordem e 4 canais de 2^a ordem. No complexo LPTa/LCD foi contabilizado 7 canais de 1^a ordem e 5 de 2^a ordem. O LPF a UQ que possui maior quantidade de canais, sendo 8 de 1^a ordem, 4 de 2^a ordem e 1 de 3^a

ordem. Os depósitos mistos (LMP) possuem 5 canais de 1ª ordem e 2 canais de 2ª ordem. Finalmente, a UQ LCR apresentou 5 canais de 1ª ordem e 4 canais de 2ª ordem (Tabela 11).

TABELA 11: Ordem hierárquica segundo Strahler (1957) dos canais e número total de canais por amostra circular (UQ).

UQ	Ordem/Número de Rios			Total
	1ª	2ª	3ª	
LHTb	2			2
LHTa	4	2	2	8
LPTb	4	4		8
CxLPTa/LCD	7	5		12
LPF	8	4	1	13
LMP	5	2		7
LCR	5	4		9

A UQ LPF é a que possui a maior quantidade de canais de drenagem com 13 no total, seguida por CxLPTa/LCD com 12 canais, LCR com 9 canais, LHTa e LPTb com 8 canais cada, LMP com 7 canais e LHTb com apenas 2 canais.

Em LHTb, os rios não somaram 1km de comprimento (Tabela 12). Em LHTa, os rios de 1ª ordem somaram 1,4 km e os de 2ª e 3ª ordens somaram 1,2 e 0,04 km respectivamente. Em LPTb, OS canais de 1ª ordem somaram 2,1 km e os de 2ª ordem 3,3 km. O complexo LPTa/LCD possui 4,5 km de canais de 1ª ordem e 1,8 km de canais de 2ª ordem. LPF tem 1,4 km de canais de 1ª ordem, 1,9 km de canais de 2ª ordem e 0,3 km de canais de 3ª ordem. LMP apresentou 3,1 km de canais de 1ª ordem e 0,9 km de canais de 2ª ordem. Finalmente, LCR possui 0,8 km de canais de 1ª ordem e 1,5 km de canais de 2ª ordem. O maior comprimento total de rios está no complexo LPTa/LCD com 6,2 km de canais, enquanto que a UQ com menor extensão de canais é a LHTb.

TABELA 12: Comprimento total dos canais por ordem hierárquica, em cada amostra circular (UQ).

UQ	Ordem/Comprimento Total de Canais (km)			Total
	1 ^a	2 ^a	3 ^a	
LHTb	0,8			0,8
LHTa	1,4	1,2	0,04	2,6
LPTb	2,1	3,3		5,4
CxLPTa/LCD	4,5	1,8		6,2
LPF	1,4	1,9	0,3	3,6
LMP	3,1	0,9		3,9
LCR	0,8	1,5		2,3
Média	2,0	1,7	0,1	3,5

O comprimento médio dos rios em LHTb é 0,38 km (tabela 13). Em LHTa o comprimento médio dos rios de 1^a ordem é 0,36 km, os de 2^a ordem é 0,57 km e os de 3^a é 0,02 km. Em LPTb o comprimento médio dos rios de 1^a ordem é 0,52 km e os de 2^a ordem é de 0,83 km. No complexo LPTa/LCD o comprimento médio dos rios de 1^a ordem é 0,64 km e 0,35 km dos rios de 2^a ordem. Os rios de 1^a ordem em LPF têm 0,18 km de comprimento médio, os de 2^a ordem te 0,48 km e os de 3^a ordem tem 0,25 km. Em LMP tem os de 1^a ordem possuem 0,61 km de comprimento médio e de 2^a ordem 0,43 Km. Em LCR os rios de 1^a ordem tem 0,16 km e os de 2^a ordem tem 0,36 km de comprimento médio. Em média, o comprimento médio dos rios de 1^a ordem é 0,41 km, os de 2^a ordem é de 0,50 km e o comprimento total de 3^a é de 0,14 km. LPTb é a que possui maior comprimento médio total de canais, 1,35 km e LHTb é o menor comprimento médio, com 0,38 km.

TABELA 13: Comprimento médio dos canais por ordem hierárquica, em cada amostra circular (UQ).

UQ	Ordem/Comprimento Médio de Canais (km)			Total
	1 ^a	2 ^a	3 ^a	
LHTb	0,38			0,38
LHTa	0,36	0,57	0,02	0,95
LPTb	0,52	0,83		1,35
CxLPTa/LCD	0,64	0,35		0,99
LPF	0,18	0,48	0,25	0,91
LMP	0,61	0,43		1,04
LCR	0,16	0,36		0,52
Média	0,41	0,50	0,14	0,88

A partir da praia, em direção à encosta, a tabela 14 apresenta os resultados de frequência de canais (F) e de densidade de drenagem das UQs. LHTb, apresentou F de 16 canais e Dd de 7,6. Adiante, em LHTa, a F de canais é superior à LHTb, com 27 e Dd de 8,7. Em LPTb, a F foi bem menor, com 10 canais e Dd 6,7. Na área do CXLPTa/LCD, a F de canais foi 15 e a Dd foi 8. Em LPF foi registrada a maior F de canais entre as UQs, com 43 canais e 12 de Dd. LMP apresentou F de 14 canais e 8 de Dd, e por fim, LCR apresentou a segunda maior F de canais com 30, e a Dd de 7,5.

TABELA 14: Frequência de canais (F) e Densidade de drenagem (Dd) das UQs, a partir das amostras circulares.

UQ	F	Dd
LHTb	16	7,6
LHTa	27	8,7
LPTb	10	6,7
CxLPTa/LCD	15	8
LPF	43	12
LMP	14	8
LCR	30	7,5

Os valores muito baixos de das variáveis morfométricas analisadas na tabela 14, indicam que se trata de tipos de solo permeáveis e com alta relação

infiltração/deflúvio da água proveniente da precipitação. As UQs LHTb, LHTa, LPTb e LPTa tem como característica a presença de areias finas e muito fina, nos horizontes O, E, E álbicos, B espódicos. Em LPF, onde os índices morfométricos são superiores, está próximo ao lado esquerdo do condomínio Morada da Praia (que parece ter barrado toda a drenagem de NW-SE) e isso pode ser um fator que influencie nos resultados, pois esta UQ possui solos arenosos em suas camadas superiores, e presença de argila só em aproximadamente 2,60 m de profundidade.

Em LMP seriam esperados maiores valores de F e Dd, pois apresenta solo argiloso a 0,20 m de profundidade e possui uma infinidade de canais que recortam esta UQ, que puderam ser apreciados em campo, mas imperceptíveis na fotointerpretação. Os valores de LCR condizem com a realidade presenciada em campo, pois trata-se de rampa de colúvio, com a presença de solos argilosos a 0,05 m de profundidade.

6. CONCLUSÕES

O desenvolvimento deste trabalho de pesquisa possibilitou o entendimento do funcionamento da dinâmica hídrica nas UQs presentes na Bacia do Rio Guaratuba.

Ao longo do período de monitoramento, a pluviosidade apresentou-se consideravelmente elevada nos períodos em que ocorrera a atuação do fenômeno *El Niño*. Isso está evidenciado a partir da comparação entre a média histórica de pluviosidade para área de estudo, e da correlação com as análises sinóticas. As anomalias de pluviosidade foram mais intensas no início do monitoramento, pois o *El Niño* atuou durante o segundo semestre de 2009 e o primeiro semestre de 2010.

De acordo com o INPE, entre 2009 e 2010, o *El Niño* teve fraca atuação. Em períodos de forte atuação, como em 1972 e 1983, os volumes de chuva chegaram a ultrapassar os 400 mm no verão. Um dos anos em que o comportamento atmosférico mais se assemelha ao período estudado neste trabalho é 1990, pois a umidade durante o inverno foi alta em ambos os períodos, embora este ano tenha se caracterizado por um *El Niño* de atuação forte.

Existe uma tendência positiva da distribuição das chuvas ao longo da planície costeira, até os níveis da encosta. Entre a linha de costa e as a Serra do Mar há um espaço de um pouco mais de 6 km, mas essa curta distância é suficiente para que as escarpas do Planalto Atlântico exerçam efeito orográfico, e dessa forma influenciem a distribuição das chuvas no local. Nesse contexto, os sub-biomas e as fitofisionomias ocorrentes na bacia estariam recebendo volumes de chuva diferenciados, sendo os mais desenvolvidos (FaR, FAL, FTr) e os que recebem os mais elevados índices pluviométricos médios, enquanto que os tipos menos

desenvolvidos (FbR, CxFaR/FaRu) recebem os menores valores de pluviosidade média.

A temperatura do ar registrada em campo esteve com médias consideravelmente superiores à média histórica. Proporcionalmente inversa, a UR diminui com o aumento da temperatura do ar, chegando a níveis extremamente baixos nos períodos mais quentes. Considerando que os pontos de coleta de dados de temperatura do ar e UR foram em áreas urbanas (pluviômetros) e em áreas naturais (piezômetros), é provável que as medidas realizadas em área antropizada tenham elevado as médias de temperatura do ar, e baixado as de umidade relativa do ar. Para isso, considera-se necessário um estudo sobre a formação de ilha de calor no condomínio Morada da Praia, que é uma área densamente urbanizada, e se estende a partir da linha de costa até o sopé da Serra do Mar. A presença deste condomínio pode estar interferindo na dinâmica climática local.

O BHC normal apresenta um mês com déficit hídrico, que é agosto, e os demais meses com elevado excedente hídrico. Já o BHC sequencial alternou meses de elevado excedente hídrico, com meses de déficit hídrico, que foram abril/2010 e maio/2010 e maio/2011 e junho/2011. A diferença na distribuição temporal de chuva aliada aos elevados níveis de evapotranspiração do período de amostragem ocasionaram a migração do período de relativa seca, de agosto para abril/junho. Em média, o período amostral foi mais seco do que a normal climatológica, pois o BHC sequencial médio não teve excedente hídrico superior a 120 mm e por outro lado, o déficit chegou a 60 mm em abril.

A drenagem mostrou-se mais densa na UQ LPF, cujo ponto amostrado está próximo ao lado oeste do Condomínio Morada da Praia. Este condomínio estende-se da praia até as encostas do Planalto Atlântico (Serra do Mar), e age

como uma barreira para a drenagem que escoar no sentido NW-SE, o que pode justificar a alta frequência e densidade nesta UQ. Com exceção à LCR, que também possui alta frequência e densidade de rios, as UQs marinhas possuem baixa frequência e densidade de canais, que é uma característica de substratos arenosos, que é o caso destas UQs (LHTb, LHTa, LPTb, LPTa) . A LMP, onde pode ser visto possui um grande emaranhado de canais em campo, não apresentou frequência e densidade de drenagem altas, pois na fotointerpretação não foi possível perceber tais canais.

As UQs que apresentam o horizonte espódico em sua estratigrafia tendem a ter a profundidade do NA regulada por ele, como foi verificado em LHTb/FaR, LHTa/FaR, LPTb/FaR, LPTa/FaR e LCD/FaRu, ou seja, as UQs compostas por areias de origem marinha.

Os níveis de NA mais profundos ocorrem nas UQs mais altas e antigas (pleistocênicas), todavia, o nível de LPTa foi exceção, já que seu nível de NA nunca era inferior a 1,00 m de profundidade. Neste caso, a camada encontrada de espodossolo foi extremamente espessa e, como já foi dito, no período de instalação dos equipamentos chovia muito. No início acreditou-se que o nível do NA estivesse suspenso por conta das chuvas intensas, mas estes níveis mais rasos permaneceram ao longo do monitoramento, contrariando o que foi identificado por Moreira, 2007 e Souza *et al.* (2009).

Por fim, em cada UQ, com exceção de LCD que o NA está sempre aflorante, a oscilação vertical do NA acompanhou a variação mensal dos cálculos de BHC sequencial realizados para a área da bacia. O nível de NA respondeu à entrada e saída de água no sistema, e em cada UQ houve stress hídrico nos meses de

déficit, e conforme ocorriam os acúmulos de excedente hídrico, os NA retomavam os níveis mais rasos.

A resposta de nível de NA não costuma ser instantânea. Quando ocorre períodos de queda do excedente hídrico, ou de déficit hídrico, os NA começam a baixar lentamente. Por exemplo, em abril de 2010, o déficit hídrico atingiu o nível de -59 mm, e o que se observou nas curvas de NA foram valores mais baixos em maio e junho de 2010.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARMANI, G.; TAVARES, R.; SILVA, M. G. 2007. Mapeamento digital do balanço hídrico climatológico do Município de Ubatuba - SP. Natal, RN. In: Simp. Bras. Geografia Física Aplicada, 12, 2007, Natal. Anais... Natal: Departamento de Geografia/CCHLA/UFRN, p. 747-764. (CD-ROM).
- BURINGH, P. 1960. The applications of aerial photographs in soil surveys. In American Society of Photogrammetry. Manual of photographic Interpretation. Washington: American Society Photogrammetry. P.633-666.
- CAMARGO, A. P. 1971. Balanço hídrico no Estado de São Paulo. Campinas: Instituto Agrônômico. 24p. Boletim 116.
- CHRISTOFOLETTI, A. 1980. Geomorfologia. São Paulo: Edgard Blücher, 2ª Edição. 188 p.
- CRUZ, R.C.A. da. 2003. Introdução à Geografia do Turismo. 2ª edição. São Paulo. Editora Roca. 125 p.
- DAEE. 2009. Sistema de Informações para o Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo. Disponível em: <http://www.daee.sp.gov.br/>. Acessado em 10/2009.
- DAEE, IG, IPT, CPRM. 2005. Mapa de águas subterrâneas do Estado de São Paulo: escala 1:1.000.000 : nota explicativa / [coordenação geral Gerôncio Rocha]. - São Paulo:
- DAJOZ, R., 2005. Princípios de Ecologia. Tradução: Fátima Murad. 7ª Ed. Porto Alegre: Artmed. 520 p.
- DEMATTE. J. A. M.; FERREIRA, F. P; ALVES, M. R; CAMPOS, R. C. 2011. Fotopedologia e pedologia espectral orbital associadas no estudo de solos desenvolvidos de basalto. Campinas: Bragantia vol.70 nº1. P 122 – 131.

- FILET, M.; SOUZA, C.R de G.; XAVIER, A.F.; Büschel, E.C.G.; MORAES, M.B.R. & POLETI, A.E. 2001. Gerenciamento costeiro e os estudos do Quaternário no Estado de São Paulo, Brasil. *Revista Pesquisas em Geociências*, 28 (2): p. 475-486.
- GALVANI, E. 2004. Considerações acerca dos estudos bioclimáticos. In: CARLOS, A. F. A., OLIVEIRA, A. U. *Geografias de São Paulo: A metrópole do século XXI*. p. 221 – 229.
- GALVANI, E. LIMA, N. G. B. 2006. Caracterização Microclimática dos Manguezais da Barra do Ribeira-Iguape/SP e suas Relações com os Aspectos Fisionômicos da Vegetação. *GEOUSP - Espaço e Tempo*, São Paulo, Nº 20, p. 79 – 100.
- GARCIA, G. J. 1982. *Sensoriamento Remoto: princípios e interpretação de imagens*. São Paulo: Nobel. 357 p.
- GUEDES, D., BARBOSA, L. M., MARTINS, S. E. 2006. Composição florística e estrutura fitossociológica de dois fragmentos de floresta de restinga no município de Bertioga, SP, Brasil. *Acta Botanica Brasílica*, vol. 20, n.2, PP. 299-311.
- INMET - Normais Climatológicas. Disponível em: www.inmet.gov.br. Acessado em: 03/2010.
- IRITANI, M. A. & EZAKI, S. 2008. *As Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo*. São Paulo: secretaria de Estado do Meio Ambiente – SMA. 104p.
- JAMES, P. E. 1922. *Koppen's Classification of Climates: a Review*. Worcester, Clark University, p.69-72.
- LEINZ, V. 1985. *Geologia Geral*. São Paulo: Editora Nacional. 397p.

- LIMA, M. I. C. 2002. Apostila: Análise de Drenagem e Seu Significado Geológico-Geomorfológico. Belém-PA. (CD – ROM).
- MAIA, C.E., MORAES, E. R. C., MEDEIROS, J. F. 2005. Capacidade de Campo, Ponto de Murcha Permanente e Água Disponível para as Plantas em Função de Doses de Vermicomposto. Mossoró, v.18, n.3, p.195-199.
- LOPES, E. A. 2007. Formações Florestais de Planície Costeira e Baixa Encosta e sua Relação com o Substrato Geológico nas Bacias dos Rios Itaguapé e Guaratuba (Bertioga - SP). Dissertação (Mestrado) -- Instituto de Botânica. São Paulo, 181 p. + anexos.
- LUZ, G. 2010. Oceano Atlântico Sul e a Precipitação no Estado de São Paulo. Dissertação (Mestrado) -- Departamento de Geografia FFLCH – USP, 179 p.
- MARTINS, V. M. 2009. Relação Solo – Relevo - Substrato Geológico na Planície Costeira de Bertioga (SP). Tese (Doutorado) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba, 273 p.
- MOREIRA, M. G., 2007 Associações entre os Solos, os Ambientes Sedimentares Quaternários e as Fitofisionomias de Planície Costeira e Baixa Encosta nas Bacias dos Rios Itaguapé e Guaratuba (Bertioga-SP). Dissertação (Mestrado) Instituto de Botânica da Secretaria de Estado do Meio Ambiente. São Paulo, 157 p.
- OLIVEIRA, D., 2003. A Captura do Rio Guaratuba: uma proposta metodológica para o estudo da evolução do Relevo na Serra do Mar, Boracéia – SP. Tese (Doutorado) Departamento de Geografia – FFLCH-USP. São Paulo, 105 p. + anexos.
- OMETTO, J. C. 1981. Bioclimatologia Vegetal. São Paulo: Ed: Agronômica Ceres. 440 p.

- PEREIRA, A. R.. 2005. Simplificando o Balanço Hídrico de Thornthwaite-Mather. *Bragantia*, Campinas, v.64, n.2, p.311-313.
- PEREIRA, A.R., ANGELOCCI, L.R., SENTELHAS, P.C.. 2002. *Agrometeorologia: Fundamentos e aplicações práticas*. Guaíba: Agropecuária. 478 p.
- PIANKA, E. R., 1994. *Evolutionary Ecology*. 5ª Ed. U.S.A.: Harper Collins College Publishers. 486 p.
- PEREIRA, D. S. & SOUZA, C. R. G. 2010. Variação Horizontal da Temperatura e da Umidade Relativa do Ar Entre a Praia e as Encostas da Serra do Mar na Região de Bertioga (São Paulo, Brasil). VI Seminário Latino Americano de Geografia Física II Seminário Ibero Americano de Geografia Física. Coimbra. 12p.
- PINTO SOBRINHO, F. A. & SOUZA, C. R. G. 2010. Caracterização florística e estrutural de quatro sub-biomas florestais presentes na planície costeira de Bertioga, Sudeste do Brasil: resultados parciais. VI Seminário Latino Americano de Geografia Física II Seminário Ibero Americano de Geografia Física. Coimbra. 13p.
- PRIMAC. 2005. Programa Regional de Identificação E Monitoramento de Áreas Críticas de Inundações, Erosões e Deslizamentos Metropolitana da Baixada Santista - Módulo II. Disponível em: www.agem.sp.gov.br. Acesso em, 29/03/2010.
- RESOLUÇÃO CONAMA nº 7, de 23 de julho de 1996 Publicada no DOU no 165, de 26 de agosto de 1996, Seção 1, p. 16386-16390.
- RICKLEFFS, R. E.. 2003. *Economia da Natureza*. Revisora Técnica e Coordenadora da Tradução: Cecília Bueno, Tradução: LIMA E SILVA, P. P., MOUSINHO, P..Rio de Janeiro: Ed. Guanabara Koogan S.A.. 503p.

- ROSSI, M. 1999. Fatores Formadores da Paisagem Litorânea: A Bacia do Guaratuba, São Paulo - Brasil. Tese (Doutorado) -- Departamento de Geografia FFLCH – USP, 168 p.
- SANTANA, J. A. S., SANTANA JÚNIOR, J. A. S., SOUTO, J. S., MACÊDO, A. B. 2004. Balanço Hídrico e Classificação Climática de Thornthwaite da Estação Ecológica do Seridó, Serra Negra do Norte-RN. BRASIL FLORESTAL – Nº 80, p. 9 – 16.
- SANT'ANNA NETO, J. L. 2000. As chuvas no Estado de São Paulo: a variabilidade pluvial nos últimos 100 anos. In: Variabilidade e mudanças climáticas: implicações ambientais e socioeconômicas. Maringá: EDUEM, p. 95 – 119.
- SEADE, 2011. População e Estatística: Perfil Regional. Disponível em: <http://www.seade.gov.br/>. Acessado em 05/2011.
- SOUZA, C.R. de G. 2003/2004. Projeto SIIGAL: O SIGERCO para o Estado de São Paulo. Gerenciamento Costeiro Integrado, nº 3, ano 2, p. 35-37.
- SOUZA, C. R. de G. 2005. Suscetibilidade Morfométrica de Bacias de Drenagem ao Desenvolvimento de Inundações em Áreas Costeiras. Revista Brasileira de Geomorfologia, Ano 6, Nº1. 45-61.
- SOUZA, C. R. de G. 2006. Mapeamento de compartimentos fisiográficos de planície costeira e baixa-encosta e da vegetação associada, no Litoral Norte de São Paulo. In: Simpósio Nacional de Geomorfologia VI, Goiânia (GO), 06-10/10/2006. Anais. (CD-ROM).
- SOUZA, C.R. de G. 2007. Ambientes sedimentares de planície costeira e baixa-média encosta em Bertioga (SP). In: XI Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário – ABEQUA, Belém, PA. Anais, CD-ROM.

- SOUZA, C. R. de G. & SUGUIO, K. 1996. Coastal erosion and beach morphodynamics along the state of São Paulo (SE Brazil). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 68 (3): 405-424.
- SOUZA, C. R. de G.; BENDAZOLI, A.; SUGIYAMA, M.; LOPES, E. A. & KIRIZAWA, M. 1997. A relação entre o meio físico e a biota no estudo da "restinga" do Estado de São Paulo. In: Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário (ABEQUA) VI, e Reunião sobre o Quaternário da América do Sul, Curitiba, ABEQUA, 27/jul.-03/ago, 1997, Resumos Expandidos, p. 367-372.
- SOUZA, C. R. de G.; VEDOVELLO, R.; BROLLO, M. J.; TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J. & HOLL, M. C. 2001. A cartografia geotécnica no sistema integrador de informações geoambientais para a zona costeira de São Paulo (Projeto SIIGAL). In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica, IV, Brasília (DF), 02-05/setembro/2001. ABGE. Anais (CD-ROM).
- SOUZA, C. R. DE G.; HIMURA, S. T.; SALLUM, A. E. M.; RIBEIRO, R. R. & SOBRINHO, J. M. A. 2008. "Restinga". Conceitos e Empregos do Termo no Brasil e Implicações na Legislação Ambiental. São Paulo. Instituto Geológico: 104 p.
- SOUZA, C. R. G., LUNA, G. C.. 2008. Unidades Quaternárias e Vegetação Nativa de Planície Costeira e Baixa Encosta da Serra do Mar no Litoral Norte de São Paulo. *Revista do Instituto geológico, São Paulo*, 29 (1/2). Pag. 1-18.
- SOUZA, C.R. DE G.; MOREIRA, M.G. & LOPES, E.A. 2009. Coastal plain and low-medium slope micro-biomes: a new approach based on studies developed in Bertioğa (SP). *Brazilian Journal of Ecology* (in press).
- STRAHLER, A. N. 1957. *Quantitative Analyses of Watershed Geomorphology* Transaction American Geophysical. Union, New Haven, 38: P. 913-920.

- TAVARES, R. 2009. Clima, Tempo e Desastres. In: Tominaga, L.K., Santoro, J. & Amaral, R. (Orgs). Desastres Naturais: Conhecer para Prevenir. São Paulo: Instituto Geológico, 196 p.]
- TOMASELLA, J. & ROSSATO, L. 2005. Balanço Hídrico. Instituto Nacional de Pesquisas Tecnológicas - INPE. São José dos Campos.
- THORNTWHAITE, C. W. & MATHER, J. R. 1955. The water Balance. Publications in Climatology. New Jersey: Drexel Institute of Techniligy. 104 p.
- WALTER, H. 1986. Vegetação e Zonas Climáticas: tratado de ecologia global., Tradutoras: Anna Terzi Giova, Hikdegard T. Backup, Revisão Técnica e Notas: Antônio Lamberti. São Paulo: EPU. 325 p.