



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE
JANEIRO
GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA

VINÍCIUS EGIDIO LAMEGO

AVALIAÇÃO DO BALANÇO HÍDRICO E ANÁLISE DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO
POTENCIAL E REAL REALIZADAS COM O *SOFTWARE* VISUAL BALAN 2.0 NA
LAGOA SALGADA EM CAMPOS DOS GOYTACAZES E SÃO JOÃO DA BARRA,
RJ

RIO DE JANEIRO – RJ

2018

VINÍCIUS EGIDIO LAMEGO

**AVALIAÇÃO DO BALANÇO HÍDRICO E ANÁLISE DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO
POTENCIAL E REAL REALIZADAS COM O *SOFTWARE* VISUAL BALAN 2.0 NA
LAGOA SALGADA EM CAMPOS DOS GOYTACAZES E SÃO JOÃO DA BARRA,
RJ**

Trabalho de conclusão de curso de graduação em Geologia do Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, apresentado como requisito necessário para obtenção de grau de bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Dr. Gerson Cardoso da Silva Junior.
Co-orientadora: Profa. Dra. Kátia Leite Mansur

RIO DE JANEIRO - RJ

2018

L299 Lamego, Vinícius Egidio.

Avaliação do balanço hídrico e análise da evapotranspiração potencial e real realizadas com *software* Visual Balan 2.0 na lagoa Salgada em Campos dos Goytacazes e São João da Barra, RJ / Vinícius Egidio Lamego – Rio de Janeiro, 2018.

61f.

Monografia (Graduação em Geologia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2018.

Orientador: Prof. Dr. Gerson Cardoso da Silva Junior / Co-orientadora: Kátia Leite Mansur.

1. Balanço hídrico. 2. Visual Balan. 3. lagoa Salgada. 4. Evapotranspiração real. 5. Evapotranspiração potencial. I Silva Jr., Gerson Cardoso da. II Título.

CDD551

VINÍCIUS EGIDIO LAMEGO

AVALIAÇÃO DO BALANÇO HÍDRICO E ANÁLISE DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL E REAL REALIZADAS COM O *SOFTWARE* VISUAL BALAN 2.0 NA LAGOA SALGADA EM CAMPOS DOS GOYTACAZES E SÃO JOÃO DA BARRA, RJ

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Geologia do Instituto de Geociências Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, apresentado como requisito necessário para obtenção do grau de Geólogo.

Rio de Janeiro, 19 de Dezembro de 2018

Prof. Dr. Gerson Cardoso da Silva Jr. (Orientador)
Universidade Federal do Rio de Janeiro

Profa. Dra. Kátia Leite Mansur (Coorientadora)
Universidade Federal do Rio de Janeiro

Profa. Dra. Andrea Ferreira Borges
Universidade Federal do Rio de Janeiro

Talita Azevedo da Silva
Geóloga - MSc.

À minha querida mãe e avó que foram o meu alicerce nessa jornada. À minha mãe que não permitiu que eu desistisse e a minha avó por me confortar nos momentos difíceis.

“Tenho sangrado demais, tenho chorado pra cachorro
ano passado eu morri, mas esse ano eu não morro”.

(BELCHIOR, 1976)

Resumo

LAMEGO, Vinícius.E. **AVALIAÇÃO DO BALANÇO HÍDRICO E ANÁLISE DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL E REAL REALIZADO COM O SOFTWARE VISUAL BALAN 2.0 NA LAGOA SALGADA EM CAMPOS DOS GOYTACAZES E SÃO JOÃO DA BARRA, RJ.** Ano 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

A lagoa Salgada é uma laguna hipersalina com espelho d'água de cerca de 2,8 km², localizada ao sul de São João da Barra, na divisa com Campos dos Goytacazes. Essa lagoa possui relevância internacional por apresentar em suas margens e no seu interior estromatólitos, estruturas constituídas por carbonato de cálcio que indicam atividade de cianobactérias primitivas, uma das primeiras manifestações de vida na Terra. Ela está inserida ao Projeto Geoparque, Costões e Lagunas do Estado do Rio de Janeiro e tem parte de sua localização pertencente ao Parque Estadual da Lagoa do Açú (Pelag). Diante disso, fazer um estudo hidrogeológico em uma área de 50 km² ao entorno da lagoa é de grande valor científico e social. Entender o mecanismo de entrada e saída de fluxo de água na lagoa auxilia na proposição de medidas de preservação e de caracterização desse singular sítio geológico. O objetivo do presente estudo é elaborar balanço hídrico na lagoa Salgada com o *software* Visual Balan 2.0. As estações utilizadas foram a estação do INMET localizado no Cabo de São Tomé e a do INPE, sendo essa criada a partir de uma modelagem numérica. Posteriormente foram confrontados resultados dessas duas estações. Também foi realizado estudo mensal da precipitação e da evapotranspiração real. Por fim, foram comparados a evapotranspiração potencial feita pela UFRRJ do câmpus de Campos dos Goytacazes (centro de apoio ao ensino, à pesquisa e à extensão agropecuária nas regiões Norte e Noroeste Fluminense) em relação realizada com o *software* Visual Balan 2.0. Resultados mostram que dados obtidos da modelagem numérica carecem de pequenos ajustes para uma melhor representação da realidade. Ao comparar resultados obtidos pela UFRRJ, alternativamente com os resultados obtido pela simulação no *software* Visual Balan mostram de modo satisfatório aproximação entre os dois métodos.

Palavras-chave: Balanço hídrico, Visual Balan, lagoa Salgada, Evapotranspiração real, Evapotranspiração potencial

Abstract

LAMEGO, Vinícius.E. **EVALUATION OF THE WATER BALANCE AND ANALYSIS OF POTENTIAL AND REAL EVAPOTRANSPIRATION CONDUCTED WITH VISUAL BALAN 2.0 SOFTWARE IN LAGOA SALGADA IN CAMPOS DOS GOYTACAZES, RJ.** Year 2018. Final Course Assignment (Bachelor of Science, Geology)- Geology Department, Institute of Geosciences, Federal University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

The lagoa Salgada is a hypersaline lagoon with a water mirror of about 2.8 km², located south of São João da Barra, on the border with Campos dos Goytacazes. This lagoon has international relevance for presenting in its margins and in its interior stromatoliths, structures constituted by calcium carbonate that indicate the activity of primitive cyanobacteria, one of the first manifestations of life on Earth. It is part of the Geopark, Costões and Lagunas Project of the State of Rio de Janeiro and has part of its location belonging to the State Park of Lagoa do Açú (Pelag). Therefore, a hydrogeological study in an area of 50 km² around the lagoon is of great scientific and social value. Understanding the mechanism of inflow and outflow of water in the lagoon helps to propose measures of preservation and characterization of this unique geological site. The objective of the present study is to elaborate a water balance in the lagoa Salgada with Visual Balan 2.0 software. The stations used were the INMET station located in the Cabo de São Tomé and INPE, which was created from a numerical modeling. Subsequently, the results of these two stations were compared. A monthly study of precipitation and real evapotranspiration was also carried out. Finally, we compared the potential evapotranspiration made by UFRRJ of Campos dos Goytacazes campus (a support center for teaching, research and agricultural extension in the North and Northwest Fluminense regions) in relation to the potential evapotranspiration carried out with Visual Balan 2.0 software. Results show that data obtained from numerical modeling need small adjustments to a better representation of reality. When comparing results obtained by the UFRRJ, alternatively with the results obtained by the simulation in the software Visual Balan show a satisfactory approximation between the two methods.

Keywords: Water balance, Visual Balan, lagoa Salgada, Real evapotranspiration, Potential evapotranspiration.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura1 - Ciclo hidrológico interno da lagoa (Fonte: http://www.universiaenem.com.br/sistema/faces/pagina/publica/conteudo/texto-html.xhtml?redirect=4596934826405235_8603440811304). | 4 |
| Figura 2- Mapa de localização da lagoa Salgada, região Norte Fluminense..... | 7 |
| Figura 3- Região utilizada para o balanço hídrico feito com o <i>software</i> Visual Balan 2.0. | 7 |
| Figura 4- Temperatura máxima média x Temperatura mínima média ao longo de 30 anos (1987- 2017). Fonte: INMET..... | 8 |
| Figura 5- Precipitação média mensal ao longo de 30 anos (1987- 2017). Fonte: INMET. | 8 |
| Figura 6 – Cultivos agrícolas nas proximidades da Lagoa Salgada. | 11 |
| Figura 7 – Pastagens em regiões adjacentes à Lagoa Salgada. Fonte: MMX (2006). | 11 |
| Figura 8 – Focos localizados de ocupação humana em áreas próximas à Lagoa Salgada. Fonte: MMX (2006). | 12 |
| Figura 9 – Mapa Geológico Regional. Fonte: Silva Jr. <i>et al.</i> , 2014..... | 14 |
| Figura 10 – Coluna estratigráfica da Bacia de Campos (Winter <i>et al.</i> , 2007). | 15 |
| Figura 11 – Mapa com as unidades geomorfológicas da parte continental da Bacia de Campos. Fonte: Dantas, 2000..... | 20 |
| Figura 12 – Mapa de delimitação Caetano (2000). | |
| Figura 13 – Delimitações dos aquíferos segundo CPRM (2001)..... | 26 |
| Figura 14 – Subdivisões do aquífero sedimentar de Campos. Modificado de Capucci, 2003. | 27 |
| Figura 15 – Modelo numérico de fluxo subterrâneo, em regime permanente, da região do distrito industrial de São João da Barra e seu entrono. Fonte: EIA-RIMA, Porto do Açú, Volume VI-4..... | 27 |
| Figura 16 – Mapa das estações utilizadas no presente estudo..... | 29 |
| Figura 17 - Dados de entrada dos parâmetros..... | 33 |
| Figura 18 – Precipitação e evapotranspiração real média ao longo de 30 anos relativo as estações do INMET e do INPE. | 40 |

Figura 19 – ETP da UFRRJ comparado ao gerado pela ferramenta Visual Balan...42

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 – Diferentes denominações dos aquíferos que ocorrem na região. Caetano (2005)..... | 22 |
| Tabela 2 – Valores dos parâmetros utilizados no Visual Balan..... | 34 |
| Tabela 3 Dados gerados do <i>software</i> Visual Balan..... | 36 |
| Tabela 4 Dados gerados do <i>software</i> Visual Balan..... | 37 |
| Tabela 5 – Dados mensais de precipitação (INMET) e evapotranspiração real (Visual Balan) na área do estudo. | 39 |
| Tabela 6 - Dados mensais da série artificial de precipitação (INPE) e evapotranspiração real (Visual Balan) na área do estudo. | 40 |
| Tabela 7 – Valores de ETP obtidos pelo estudo feito pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro e valores simulados com o <i>software</i> Visual Balan..... | 41 |

LISTA DE SIGLAS

AGEITEC - Agência Embrapa de Informação Tecnológica

Aw - Clima tropical chuvoso com inverno seco

CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

DISJB - Distrito Industrial de São João da Barra

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

ETP - Evapotranspiração Potencial

ETR - Evapotranspiração Real

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

LLX - Operações Portuárias S/A

MMX - Mineração e Metálicos S.A.

MPC - Empresa de Mineração, Pesquisa e Comércio

MMX – Companhia de Energia S.A

pH - Potencial Hidrogeniônico

SiBCS - Sistema Brasileiro de Classificação de solos

Unesco - Organização das Nações Unidas para Educação, Ciência e Cultura

UFRRJ - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1. Justificativa..... | 1 |
| 1.2. Objetivo | 2 |
| 2. CONCEITOS TEÓRICO | 3 |
| 2.1. Ciclo hidrológico | 3 |
| 2.2. Evapotranspiração | 4 |
| 2.3. Precipitação..... | 5 |
| 3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO | 5 |
| 3.1. Localização | 5 |
| 3.2. Clima | 6 |
| 3.3. Hidrografia..... | 9 |
| 3.4. Vegetação | 9 |
| 3.5. Relevo | 12 |
| 3.6. Geologia..... | 12 |
| 3.6.1. Geologia Regional..... | 12 |
| 3.6.2 Geologia local | 16 |
| 3.7. Geomorfologia..... | 18 |
| 3.8. Pedologia | 20 |
| 3.9. Hidrogeologia | 22 |
| 3.9.1. Aquíferos Profundos..... | 22 |
| 3.9.2. Aquífero livre (ou Aquífero Superior) | 24 |
| 4. METODOLOGIA..... | 28 |
| 5. RESULTADOS | 34 |
| 5.1. <i>Software</i> Visual Balan 2.0 | 34 |
| 5.2. Precipitação x Evapotranspiração real | 39 |
| 5.3. Evapotranspiração potencial: medidas de campo (UFRRJ) e simulações com o Visual Balan | 41 |
| 6. CONCLUSÃO..... | 42 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 45 |

1. INTRODUÇÃO

A lagoa Salgada é uma laguna que varia de salina a hipersalina a depender da estação do ano. Ela ocupa uma superfície de cerca de 2,84 km² localizada na região nordeste do estado do Rio de Janeiro, no litoral do município de Campos dos Goytacazes e São João da Barra, próximo ao Cabo do São Tomé. O pH da lagoa varia de básico a muito básico e o potencial de oxirredução é de caráter redutor a oxidante (LAMEGO *et al.* 2016). Abriga uma das únicas ocorrências de estromatólitos carbonáticas colunares, domais, estratiformes, trombólitos e oncólitos da idade holocênica do Brasil, e provavelmente de toda a América do Sul (SRIVASTAVA, 1999).

Ao redor da lagoa ocorrem poucas casas e uma restrita vegetação composta principalmente por gramíneas em suas margens sendo gradativamente substituídos por cultivo agrícola. A lagoa Salgada é a única hipersalina entre as muitas do entorno. Ela está interligada à lagoa do Açú, em realidade um sistema fluviolacustre com água doce, através de um canal com comporta construído artificialmente. Segundo os moradores, a lagoa secava na época da seca há aproximadamente quinze anos quando não havia ligação com o rio / lagoa do Açú (SRIVASTAVA, 1999). Segundo MANSUR (2018), foi observado que o ano de 2017 a lagoa ficou seca quase o ano todo.

Com eixo principal NW-SE, apresenta comprimento máximo de 5,0 km e largura de 1,0 km (LLX, 2011). A lagoa quando cheia apresenta lâmina d'água em torno de 1m, mas pode encontrar-se completamente seca. O considerável espelho d'água intensifica a evaporação e maximiza o grau de salinidade suficiente para confirmar o nome da lagoa.

1.1. Justificativa

A lagoa Salgada tem uma característica ímpar por ser um dos dois sítios que abriga ocorrência de estromatólitos holocênicos no Brasil, além disso, é a única laguna hipersalina da Baixada Campista. Apresenta em sua margem e no seu

interior estromatólitos, estruturas constituídas por carbonato de cálcio que indicam atividade de cianobactérias primitivas, análogas à primeiras manifestações de vida na Terra (BIDEGAIN, 2002; OLIVEIRA *et al.*, 2017). Ela está inserida ao Projeto Geoparque, Costões e Lagunas do Estado do Rio de Janeiro e tem parte de sua localização pertencente ao Parque Estadual da Lagoa do Açu (Pelag) (OLIVEIRA, 2017). Devido a estes fatores elucidar a dinâmica hidrogeológica e hidrológica é de grande importância ambiental, social e científica. Com o maior conhecimento medidas mais eficientes de proteção e de conscientização da população poderão ser mais bem aplicadas.

1.2. Objetivo

O presente estudo tem como objetivo calcular o balanço hídrico na lagoa Salgada através do *software* Visual Balan 2.0. Além disso, é de grande importância entender o parâmetro da evapotranspiração real e potencial gerado pelo *software* para elucidar a dinâmica hidrológica.

2. CONCEITOS TEÓRICO

2.1. Ciclo hidrológico

O ciclo hidrológico é o fenômeno global de circulação fechada da água entre a superfície terrestre e a atmosfera, impulsionado principalmente pela energia solar associado à gravidade e à rotação da Terra (TUCCI, 2004).

O ciclo hidrológico não é um fenômeno isolado, ele resulta de uma interação entre processos hidrológicos, geomorfológicos e biológicos, tendo como agentes dinâmicos a água e o clima, cada processo interfere e sofre interferência dos demais. A litosfera age sobre a biosfera como fornecedor de alimentos minerais e orgânicos, servindo de substrato para todos os seres vivos (KOBAYAMA *et al.*, 1998) (Figura 1).

Na atmosfera, formam-se as nuvens que, quando carregadas, provocam precipitações, na forma de chuva, granizo, orvalho e neve. Nos continentes, a água precipitada pode seguir os diferentes caminhos: Infiltrar e percolar (passagem lenta de um líquido através de um meio) no solo ou nas rochas, podendo formar aquíferos, ressurgir na superfície na forma de nascentes, fontes, pântanos, ou alimentar rios e lagos. A água flui lentamente entre as partículas e espaços vazios dos solos e das rochas, podendo ficar armazenada por um período muito variável, formando os aquíferos. Pode escoar sobre a superfície, nos casos em que a precipitação é maior do que a capacidade de absorção do solo.

A água pode evaporar retornando à atmosfera. Em adição a essa evaporação dos solos, rios e lagos, uma parte da água é absorvida pelas plantas. Essas, por sua vez, liberam a água para a atmosfera através da transpiração. Por fim, ela pode congelar formando as camadas de gelo nos cumes de montanhas e geleiras.

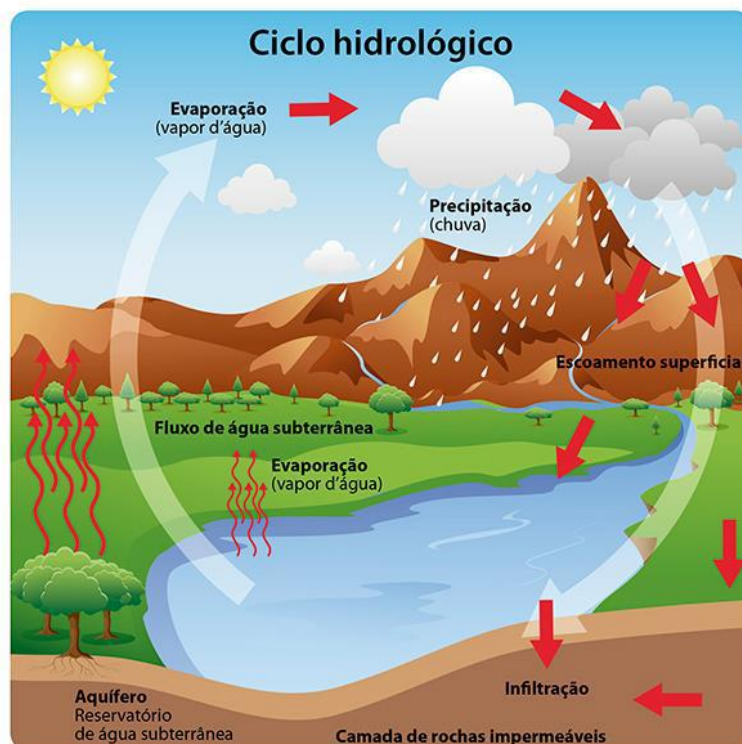


Figura1 - Ciclo hidrológico interno da lagoa (Fonte: <http://www.universiaenem.com.br/sistema/faces/pagina/publica/conteudo/texto-html.xhtml?redirect=45969348264052358603440811304>).

2.2. Evapotranspiração

De acordo com Berlato e Molion (1981), a evaporação da água é um fenômeno físico que propicia a mudança de estado da água na fase líquida para a fase gasosa. Esse fenômeno ocorre desde em superfície de água livre, ou seja, mares, lagos, rios, açudes, até em superfície úmidas, como plantas e solo. Quando essa mudança ocorre por meio das plantas recebe o nome de transpiração. Nos solos parcialmente vegetados, ocorrem tanto a evaporação quanto transpiração, assim, o processo é chamado de evapotranspiração.

Em períodos de seca, esse processo é um dos principais mecanismos de perda de água disponível, portanto, um fator gerador do próprio processo de seca. A evapotranspiração é um processo importante para o ciclo hidrológico, por meio do balanço hídrico, é possível estimar a recarga hídrica dos aquíferos. (VALDIVIA,

2005). Neste presente estudo tanto a evapotranspiração potencial quanto a evapotranspiração real foram obtidos através do *software* Visual Balan 2.0.

2.3. Precipitação

Água da atmosfera que atinge a superfície na forma de chuva, granizo, neve, orvalho, neblina ou geada é denominada precipitação. Na realidade brasileira a chuva é a forma mais importante de precipitação (CARVALHO, 2006).

Quando se trata de balanço hídrico, a precipitação é a única forma de entrada de água em uma bacia hidrográfica. Assim sendo, ela fornece subsídios para a quantificação do abastecimento de água.

A precipitação que atinge o solo pode ser parcial ou totalmente infiltrada, sendo que a taxa de água infiltrada depende da intensidade da precipitação e das propriedades do solo. A água que não é infiltrada escoar superficialmente e é impulsionada por meio da gravidade para cotas mais baixas do terreno, até chegar a um rio ou diretamente ao oceano (TUCCI, 1997).

A disponibilidade de precipitação numa bacia durante o ano é um fator determinante para quantificar, entre outros, a necessidade de irrigação de culturas e o abastecimento de água doméstico e industrial. A determinação da intensidade de precipitação é importante para o controle de inundações e da erosão do solo. Por sua capacidade para produzir escoamento, a chuva é o tipo de precipitação mais importante para a hidrologia (BERTONI & TUCCI, 1993).

3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1. Localização

A lagoa Salgada localiza-se na região Norte do Estado do Rio de Janeiro, no litoral dos municípios de Campos dos Goytacazes e São João da Barra, próximo ao Cabo do São Tomé (21°54'S e 41°02'W e 21°56'S e 40°59'E). A lagoa Salgada situa-se ao Sul do Distrito Industrial de São João da Barra (DISJB) e está uma

distância de aproximadamente de 1,2 km a oeste da lagoa do Açú (Figura 2) e apesar de se localizar a cerca de 4 km do mar não apresenta nos dias de hoje conexão direta com este.

A partir do Rio de Janeiro, a lagoa Salgada é atingida pela rodovia BR-101 (Rio de Janeiro - Campos – 280 km) e depois pela rodovia RJ-216 (Campos-Farol de São Tomé – 50 km). Dali até a lagoa Salgada, distante 20 km, o acesso é feito pela estrada sem pavimentação, secundária, passando pelos pequenos povoados de Santa Rosa e Quixaba em direção de Barra do Açú (SRIVASTAVA, 1999).

A região de estudo compreende uma área de aproximadamente de 50 km² no entorno da lagoa (Figura 3). Essa área será utilizada para a geração de resultados através do *software* de balanço hídrico Visual Balan 2.0.

3.2. Clima

O clima da região é classificado segundo Köppen (1948) como sendo da tipologia Aw, ou seja, clima tropical chuvoso com inverno seco, sendo que no trimestre menos chuvoso, as médias pluviométricas são inferiores aos 60 mm. A precipitação pluviométrica média da região de abrangência dessa microbacia não ultrapassa 900 mm, sendo registrada ocorrência de valores inferiores a 800 mm anuais. A evapotranspiração potencial, segundo método de Thornthwaite é superior a 1300 mm anuais. Em Campos, os morros da região são muito baixos e as nuvens que se formam sob o mar passam direto pela área e vão em direção à Serra da Mantiqueira, onde ocorre com maior frequência a precipitação (MANSUR et al., 2004).

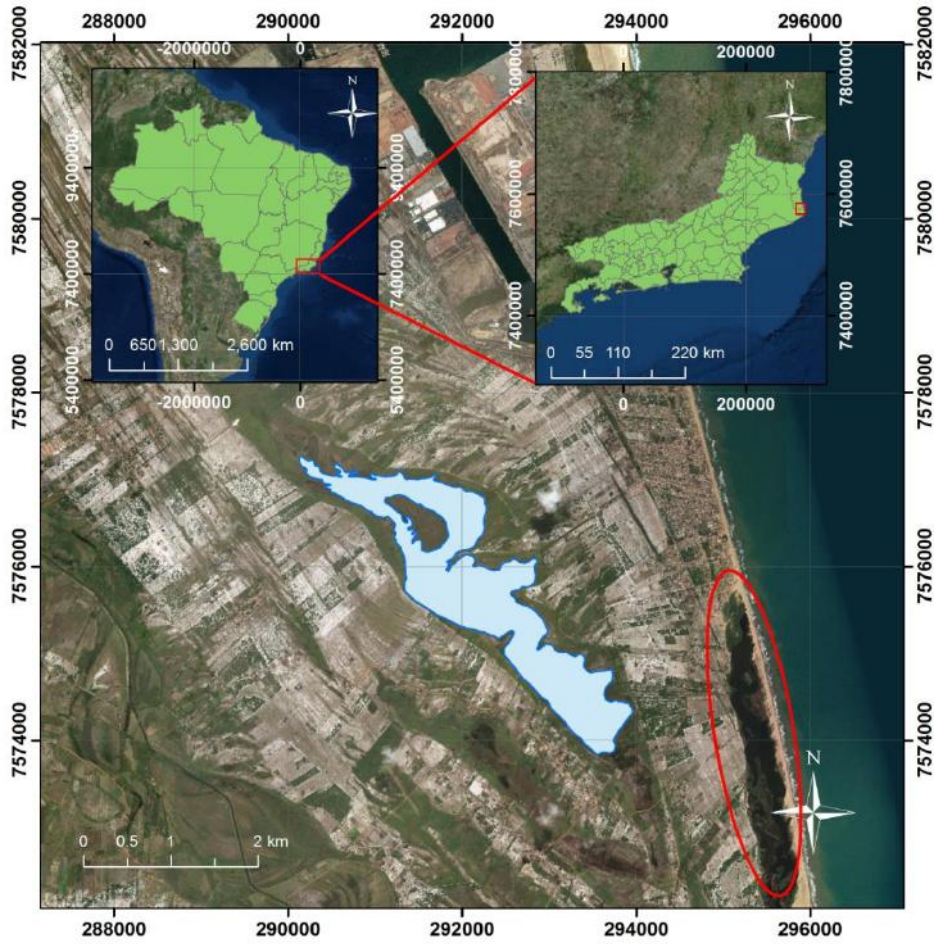


Figura 2- Mapa de localização da lagoa Salgada, região Norte Fluminense.



Figura 3- Região utilizada para o balanço hídrico feito com o software Visual Balan 2.0.

A temperatura média anual é superior a 24 °C e nos meses mais amenos não inferiores a 15 °C. Os meses de temperaturas mais elevadas são janeiro, fevereiro e março enquanto que os meses de temperaturas mais baixas são junho, julho e agosto (Figura 4). Os meses de maiores pluviosidades são novembro, dezembro e janeiro, no entanto os meses de menores precipitações são junho, julho e agosto (Figura 5).

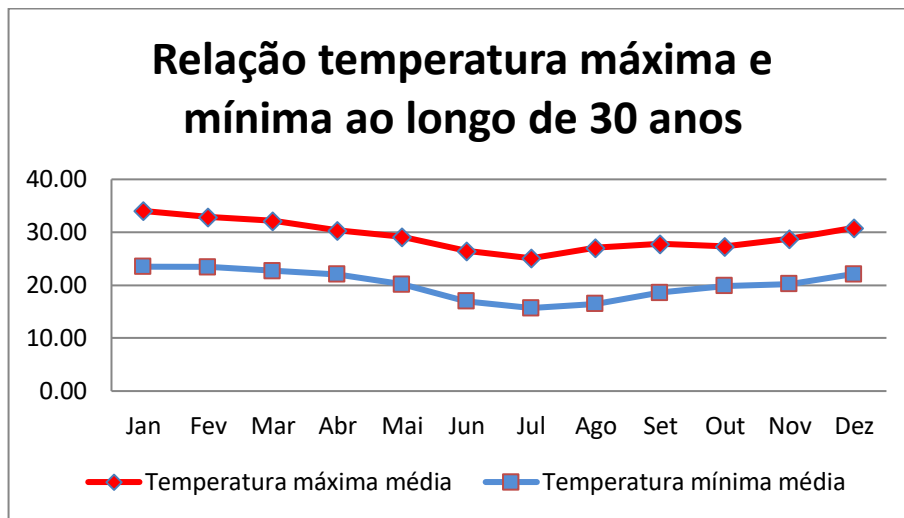


Figura 4- Temperatura máxima média x Temperatura mínima média ao longo de 30 anos (1987- 2017). Fonte: INMET.

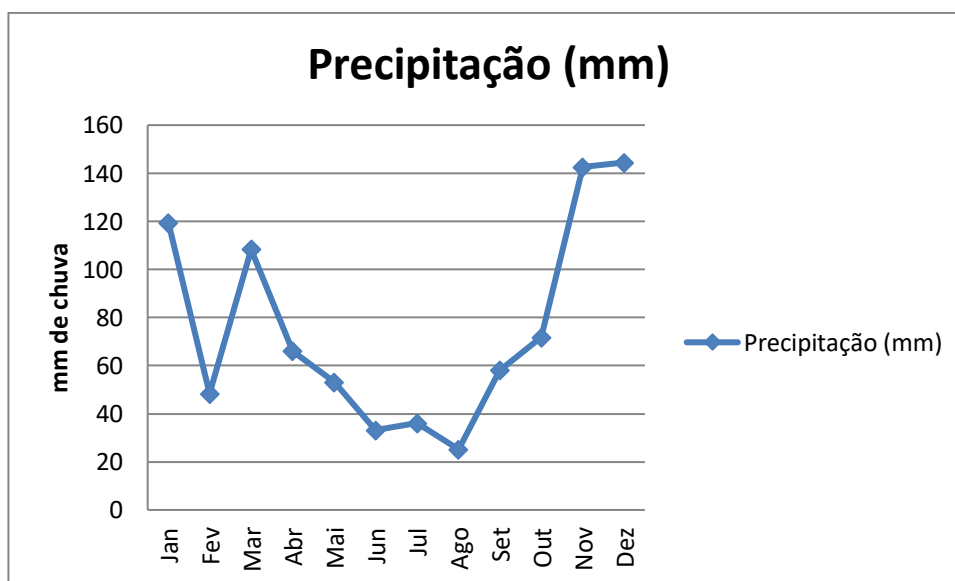


Figura 5- Precipitação média mensal ao longo de 30 anos (1987- 2017). Fonte: INMET.

3.3. Hidrografia

O principal corpo exutório é o rio Paraíba do Sul que corta a região, numa extensão de aproximadamente 28 km, desembocando no oceano Atlântico, cerca de 40 km a leste da cidade de Campos, após receber contribuição de uma bacia hidrográfica de cerca de 58.000 km² (ENCO, 1982).

A lagoa Salgada está localizada em uma região de pouco padrão de escoamento superficial, sendo caracterizada por uma baixíssima densidade de drenagem. Segundo BIDEGAIN (2002), a lagoa Salgada foi formada de um pequeno curso d'água barrado pelo mar, cuja foz foi completamente soterrada por atividade de lavra das Indústrias Nucleares Brasileiras. Consta que o primeiro núcleo de origem europeia da região – a Vila da Rainha –, foi erigido em suas margens por Pero de Góis da Silveira, donatário da Capitania de São Tomé, em 1536.

No contexto hidrográfico em que ela está inserida possui como característica uma bacia sedimentar fluvio-marinha formada ao longo de milênios pela migração da foz do rio Paraíba do Sul, também conhecida como planície aluvial do delta do Paraíba do Sul. Devido à baixa declividade do terreno, a rede de drenagem é constituída basicamente por lagoas de restinga e canais, sendo que a presença de charcos e valões intermitentes variam ao longo do ano em função das sazonalidades pluviais. Desta forma, fatores como infiltração e evaporação têm grande importância no balanço hídrico e na drenagem das águas pluviais (MMX, 2011). As lagoas Salgada, Açú, Iquipari e Grussaí formam um sistema semi-isolado ao nordeste da Lagoa Feia (BIDEGAIN, 2002).

3.4. Vegetação

Genericamente, a vegetação nativa existente na região Baixa Campista se enquadra no complexo vegetacional denominado restinga. O termo “restinga”, no sentido amplo, é utilizado para designar um complexo que abrange comunidades vegetais diferenciadas que ocorrem adjacentes ao oceano, sobre planícies arenosas

e que podem estar associadas aos diferentes níveis de nutrientes e ao regime hídrico do solo (HENRIQUES *et al.*, 1986).

As restingas são formações pioneiras com influência marinha, podendo apresentar porte herbáceo, arbustivo ou arbóreo (IBGE, 1992). Nas áreas mais próximas ao oceano, observa-se a restinga de porte herbáceo, constituídas por psamo-halófitas (vegetação que habita meios arenosos e salinos) ou psamófilas herbáceas (vegetação que apresenta preferência por solos arenosos) (MANSUR *et al.*, 2004). A restinga de porte arbustivo é característica por apresentar indivíduos lenhosos de caules tortuosos ou ramificados desde a base. Essa vegetação se encontra estabelecida sobre sedimentos arenosos já consolidados, cuja camada superficial, de coloração mais escura, apresenta na superfície pequena deposição de matéria orgânica ainda não decomposta. A vegetação arbórea é encontrada em superfícies arenosas já consolidadas, de coloração fortemente escura e rica em matéria orgânica e húmus na camada superficial (MANSUR *et al.*, 2004).

Na Baixada Campista a cobertura vegetal mostra-se heterogênea quanto ao estado de conservação em cada trecho. Esse fato deve-se ao histórico de ocupação e uso diferenciado da terra. Desse modo, enquanto alguns trechos encontram-se parcialmente conservados, a grande maioria apresenta-se sensivelmente modificada pelas ações humanas, particularmente por aquelas transformadas em propriedades rurais pelos assentamentos existentes. (MMX, 2006).

Neste contexto, a área adjacente a lagoa Salgada é revestida por trechos relativamente preservados de tipos fisionômicos de vegetação de restinga e, em sua maioria, por área antropizadas, pastagens e culturas agrícolas (Figura 6 e Figura 7).



Figura 6 – Cultivos agrícolas nas proximidades da Lagoa Salgada.



Figura 7 – Pastagens em regiões adjacentes à Lagoa Salgada. Fonte: MMX (2006).

A ocupação humana na região ocorre de forma desordenada, com a proliferação de pequenas propriedades rurais onde predomina agricultura de subsistência e familiar com pequenas plantações comerciais, além da presença de animais domésticos que podem interferir no processo de conservação dos remanescentes de vegetação nativa e na permanência da fauna silvestre (Figura 8).



Figura 8 – Focos localizados de ocupação humana em áreas próximas à Lagoa Salgada. Fonte: MMX (2006).

3.5. Relevo

O relevo da região Campista possui topografia plana, contínua, sem acidentes geográficos notáveis formados por cordões litorâneos e tem declividade extremamente suaves, na ordem de 1:100 (MMX, 2006). Além do relevo plano, não se constata evidência de processos erosivos de origem hídrica, dado a grande capacidade de infiltração dos solos arenosos que não permitem a formação de deflúvios superficiais intensos (MANSUR *et al.*, 2004).

3.6. Geologia

3.6.1. Geologia Regional

A região do Norte Fluminense é constituída por rochas cristalinas do embasamento Pré-Cambriano, sedimentos cenozoicos, continentais representados por sedimentos Neogênicos da Formação Barreiras (Mioceno/Plioceno) e sedimentos Pleistocênicos e Holocênicos (Figura 9). A Planície Costeira do rio Paraíba do Sul, conhecida por Baixada dos Goytacazes ou Baixada Campista, que domina a região, é formada principalmente por sedimentos marinhos/transicionais

(terraços marinhos pleistocênicos e holocênicos), continentais fluviais e lagunares (MARTIN *et. al.*, 1997).

Na Bacia de Campos, várias investigações vêm sendo realizadas, sobre a sua coluna estratigráfica. Dentre estas pesquisas, a mais recente é a proposta por Winter *et al.* (2007) (Figura 10). Conforme esta coluna estratigráfica, a sedimentação da bacia pode ser dividida em três fases evolutivas: Rifte, Pós-Rifte e Drifte.

Na Fase Rilfe, sobre os basaltos da Formação Cabiúnas, depositaram-se sedimentos continentais (conglomerados, arenitos, siltitos e folhelhos avermelhados e carbonatos lacustres). Diques de rochas básicas, com direção preferencial NE-SW, correlacionáveis ao magmatismo Cabiúnas, estão bem representados na área emersa.

Entretanto, na Fase Pós-Rifte (final do Aptiano), a sedimentação denota um ambiente transicional (lagunar a marinho restrito).

A Fase Drifte da bacia (do Albiano ao Recente) é representada por sedimentos associados ao ambiente de plataforma rasa até marinho profundo, sendo marcada por episódios transgressivos e regressivos. De acordo com Winter *et al.* (2007) durante o Cenozoico, a bacia apresenta uma tendência predominantemente regressiva.

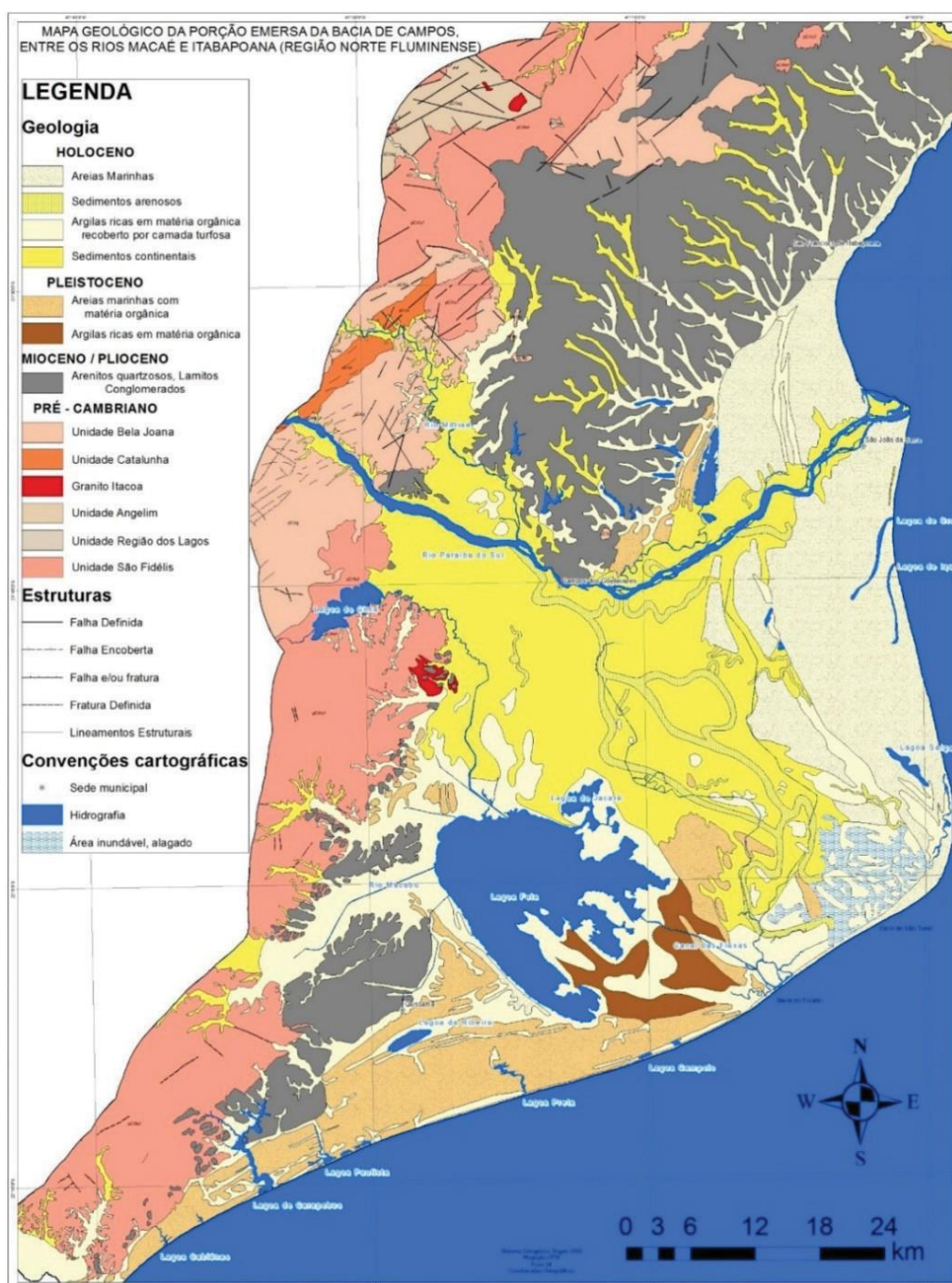


Figura 9 – Mapa Geológico Regional. Fonte: Silva Jr. et al., 2014.

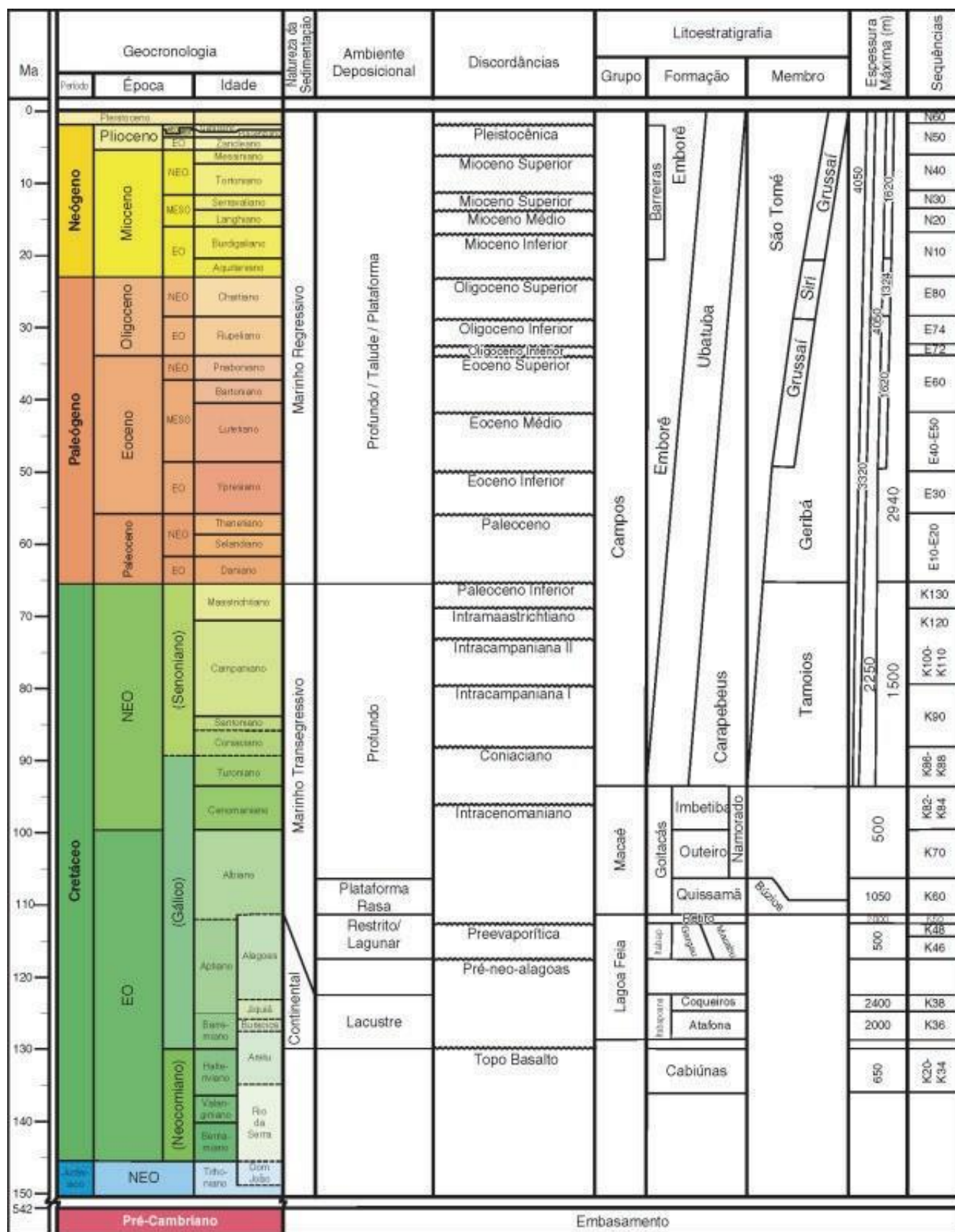


Figura 10 – Coluna estratigráfica da Bacia de Campos (Winter et al., 2007).

3.6.2 Geologia local

Na porção central da planície, ocupando as áreas de São Tomé e de lagoa Feia, ocorrem sedimentos argilo-orgânicos ricos em conchas. Numerosas datações ao radiocarbono mostraram que as idades dessas conchas variam entre 7.000 e 5.000 anos A.P., que corresponde ao período de submersão caracterizada pela existência do complexo ilhas-barreiras e laguna, na área. As conchas coletadas em uma zona baixa e alongada paralelamente aos cordões litorâneos na porção norte da planície forneceram idades próximas de 2500 anos A.P. Finalmente, conchas amostradas de quatro pequenas paleolagunas situadas na extremidade sul do terraço holocênico forneceram idades em torno de 3000 anos A.P (MARTIN,1984).

Segundo (MARTIN, 1984), as fases evolutivas da planície costeira do rio Paraíba do Sul são as seguintes:

PRIMEIRA FASE:

Há cerca de 120.000 anos A.P., correspondente ao máximo da penúltima transgressão, o nível relativo do mar deveria situar-se a $8 \pm 2\text{m}$ acima do atual. Nesta fase, a planície costeira ainda não existia e todos os vales entalhados nos sedimentos da Formação Barreiras ou nas rochas do Embasamento Cristalino pré-cambriano foram invadidos pelo mar, desenvolvendo-se numerosas lagunas. A ingressão máxima do mar, nesta fase, é demarcada por uma linha de falésias entalhada nos sedimentos da Formação Barreiras.

SEGUNDA FASE:

Após 120000 anos A.P., o nível do mar inicia a descida, quando foram construídos terraços arenosos recobertos por cordões litorâneos. Ao norte e ao sul esses terraços estão diretamente encostados nos sedimentos da Formação Barreiras. À medida que ocorria o abaixamento do nível relativo do mar, instalava-se uma rede hidrográfica sobre a planície costeira, escavando vales talvez profundos.

TERCEIRA FASE:

A partir de 18000 anos A.P. (máximo da última glaciação quaternária de maior amplitude que atingiu o hemisfério norte) o nível do mar iniciou uma subida muito rápida. No decorrer desta fase transgressiva, a maior parte da planície costeira pleistocênica foi destruída. A partir de 7000 anos A.P., iniciou-se a formação da planície costeira holocênica, pelo assoreamento parcial de uma vasta paleolaguna separada do mar aberto por ilhas-barreiras, de maneira semelhante do que ocorria na planície costeira do rio Doce. Evidentemente, as ilhas-barreiras daquela época deveriam localizar-se em posição mais externa, tendo atingido a sua posição final por volta de 5.000 anos A.P.

As zonas baixas da Formação Barreiras e os vales escavados nos terraços pleistocênicos foram, nesta fase, invadidos pelo mar, formando-se numerosas lagunas alongadas.

QUARTA FASE:

A partir de 5100 anos A.P., o abaixamento do nível relativo do mar foi acompanhado pela transferência de areias da plataforma continental interna para a praia. Essas areias foram retrabalhadas pelas correntes de deriva litorânea, tendo contribuído na construção de terraços arenosos holocênicos.

A ressecação parcial da extensa laguna, cujo testemunho atual é representado pela lagoa Feia, ocorreu não somente pelo abaixamento do nível relativo do mar, mas também, pelo aporte fluvial do rio Paraíba do Sul, que nesta época despejava totalmente os seus sedimentos na paleolaguna, construindo um grande delta. Entretanto, é possível que já antes de 4400 anos A.P., um braço do rio Paraíba do Sul atingisse diretamente o mar aberto.

Os períodos de submersão acelerada ocorridos entre 3800 e 3600 e 2700 e 2500 anos A.P. devem ter provocado uma descontinuidade na construção dos terraços holocênicos. De fato, nota-se no terraço holocênico situado ao sul da desembocadura, a existência de uma zona baixa paralela ao alinhamento dos cordões, que atravessa todo o terraço. Até o momento, não se dispõe de dados sobre a época de formação desta zona baixa, que se situa mais para o interior que as lagunas Salgada, das Ostras, da Flecha e Mololô, algumas das quais ainda

contendo água, que foram datadas de cerca de 3000 anos A.P. Então, pode-se pensar que corresponda à fase de elevação rápida do nível relativo do mar produzida entre 3800 e 3600 anos A.P.

Na parte do terraço holocênico ao norte da desembocadura atual existe também uma zona baixa paralela ao alinhamento dos cordões litorâneos. Essas idades parecem indicar que esta laguna tenha se formado durante a submersão rápida que ocorreu entre 2700 e 2500 anos A.P.

3.7. Geomorfologia

A área onde está enquadrada a lagoa Salgada situa-se na porção continental da Bacia Sedimentar de Campos, constituídas por duas unidades morfoestruturais bem definidas (DANTAS, 2000): Cinturão Orogênico do Atlântico e Bacias Sedimentares Cenozoicas. O Cinturão Orogênico do Atlântico compreende, na área, apenas maciços de menor porte, sendo definido como um domínio suave colinoso.

Já a unidade morfoestrutural Bacias Sedimentares Cenozoicas refere-se, na área, à bacia sedimentar de Campos, compreendendo as unidades morfoesculturais tabuleiros, planícies fluviomarinhas e planícies costeiras, que correspondem a rochas sedimentares cenozoicas pouco litificadas e sedimentos inconsolidados neocenoicos.

As unidades geomorfológicas da região de estudo, conforme Dantas (2000) compreendem relevos de agradação (planícies colúvio-alúvio-marinhas, costeiras e flúvio-lagunares), relevos de degradação sobre depósitos sedimentares (tabuleiros), e relevos de degradação em planaltos dissecados ou superfícies aplainadas (domínio suave colinoso), que são detalhados a seguir e podem ser visualizados na figura 11.

1. Planícies Costeiras: correspondem aos terrenos arenosos de terraços marinhos, cordões arenosos e campos de dunas. Possuem superfícies subhorizontais, com microrrelevo ondulado de amplitudes topográficas inferiores a 20m, geradas por processos de sedimentação marinha e/ou eólica. Constituem

terrenos bem drenados com padrão de drenagem paralelo, acompanhando as depressões intercordões.

2. Planícies Colúvio-Alúvio-Marinhas: correspondem a terrenos argilo-arenosos das baixadas. Possuem superfícies subhorizontais, com gradientes extremamente suaves e convergentes à linha de costa, e interface com sistemas deposicionais continentais (processos fluviais e de encosta) e marinhos. Constituem terrenos mal drenados, com padrão de canais meandranes e divagantes. Presença de superfícies de aplainamento e pequenas colinas ajustadas ao nível de base das baixadas.

3. Planícies Flúvio-Lagunares: correspondem aos terrenos argilosos orgânicos de paleolagunas colmatadas, com superfícies planas, e interface com os sistemas deposicionais continentais e lagunares. Constituem terrenos muito mal drenados, com lençol freático subaflorante.

4. Tabuleiros: formas de relevo suavemente dissecadas, com extensas superfícies de gradientes extremamente suaves ou colinas tabulares, com topos planos e alongados e vertentes retilíneas nos vales encaixado em forma de “U”, resultantes da dissecação fluvial recente. Possui densidade de drenagem muito baixa, com padrão paralelo. Predomínio de amplitudes topográficas inferiores a 50m e gradientes muito suaves, com sedimentação de colúvios e alúvios.

5. Domínio Suave Colinoso: formas de relevo de colinas muito pouco dissecadas, com vertentes convexas e topos arredondados ou alongados, com expressiva sedimentação de colúvios e alúvios. Ocorrência subordinada de morrotes alinhados. Possui densidade de drenagem baixa à média, com padrão de drenagem variável, de dendrítico a treliça ou retangular. Predomínio de amplitudes topográficas inferiores a 50m e gradientes muito suaves.

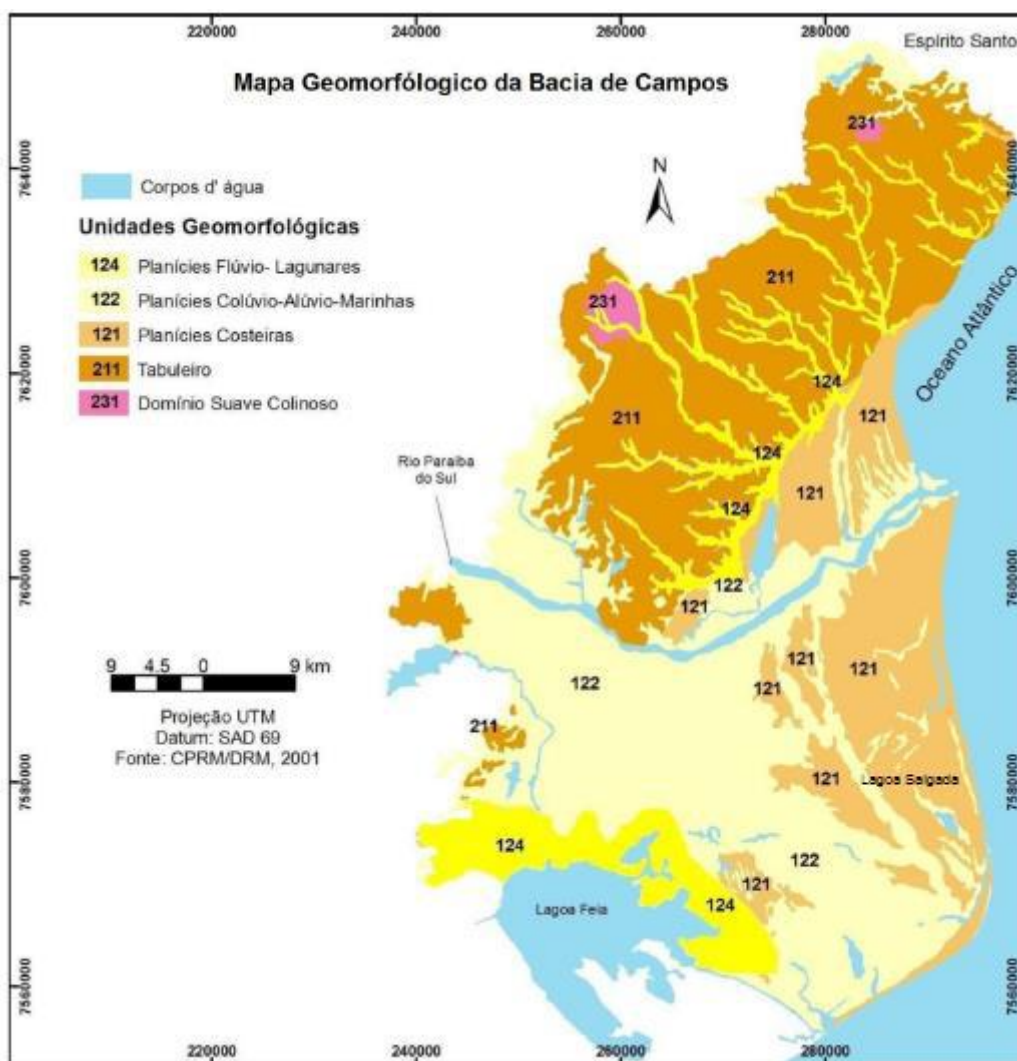


Figura 11 – Mapa com as unidades geomorfológicas da parte continental da Bacia de Campos. Fonte: Dantas, 2000.

3.8. Pedologia

A lagoa Salgada está integralmente incluída na unidade geomorfológica da Planície Costeira, possui substrato predominantemente areno-quartzoso, com presença de diversos pequenos estuários barrados por cordões, onde ocorrem depósitos pelíticos (lamas orgânicas) e turfas (MMX, 2006).

Portanto, a classe dominante é dos Neossolos, que compreende solos pouco evoluídos e sem horizonte B diagnóstico, com reduzido desenvolvimento pedogenético, em consequência da baixa intensidade de atuação dos processos,

que não conduziram, ainda, modificações expressivas no material originário (MMX, 2006).

Segundo estudos feitos pela empresa de mineração, pesquisa e comércio (MMX, 2006), desta classe, destacam-se os Neossolos Quartzarênicos, que compreendem solos profundos, com sequência de horizontes do tipo A-C, de textura arenosa em toda a extensão dos perfis, constituídos essencialmente por quartzo. Minerais primários menos resistentes ao intemperismo, se presentes, encontram-se em quantidades insignificantes. Ocorrem em toda a área relacionados aos cordões arenosos costeiros, em associação com Espodossolos, sob vegetação de restinga arbóreo-arbustiva. São excessivas e imperfeitamente drenadas, de baixa fertilidade natural, com horizonte A moderado ou A fraco, que pode mesmo estar ausente em áreas desprovidas de vegetação, localizadas mais próximas ao mar ou sujeitas à forte ação dos ventos (MMX, 2006).

Nos trechos onde ocorrem os antigos estuários, ocorre a classe dos Gleissolos, que compreende solos minerais, hidromórficos, com horizonte A seguido de horizonte glei. Segundo AGEITEC (2018), são solos relativamente recentes, pouco evoluídos, e originados de sedimentos de idade Quaternária, apresentando, portanto, grande variabilidade espacial. São subdivididos de acordo com o tipo de horizonte superficial. Ocorrem os Gleissolos Tiomórficos, que compreendem solos que se diferenciam dos demais Gleissolos por apresentarem horizonte sulfúrico e/ou materiais sulfídricos dentro de 100 cm da superfície do solo. Sendo originados de sedimentos fluviomarinhas, de idade Quaternária.

Segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de solos (SiBCS) também são registrados na área, os Gleissolos Melânicos, que se distinguem do anterior por apresentarem horizonte superficial mais desenvolvido, do tipo A chernozêmico, proeminente ou húmico, ou ainda horizonte H hístico com menos de 40 cm de espessura. Esses solos encontram-se recobertos por vegetação de campo tropical hidrófilo de várzea, hoje preservados apenas em poucos locais. Atualmente, são utilizados principalmente com pastagens.

3.9. Hidrogeologia

3.9.1. Aquíferos Profundos

A ocorrência de água subterrânea na Bacia de Campos está diretamente relacionada à sua evolução tectônica, onde os grandes lineamentos estruturais do sudeste brasileiro foram responsáveis por diversas falhas de basculamento de direção NE/SW no embasamento cristalino da bacia, atingindo na costa grandes profundidades (CAPUCCI, 2003).

Estudos feitos de delimitação dos sistemas aquíferos (cristalino e sedimentar) contemplam basicamente quatro aquíferos da região Norte Fluminense, delimitada pelos os municípios de Campos dos Goytacazes, São João da Barra e São Francisco do Itabapoana que são: Aquífero Fraturado, Paleógeno/neógeno Formação Barreiras, Paleógeno/neógeno Formação Emborê e Quaternário Deltaico. Dentre esses são sedimentares: Aquífero Formação Emborê, o Aquífero Paleógeno/neógeno Barreira e o Quaternário Deltaico.

Os três principais estudos que foram feitos na região como, por exemplo, o mapa de favorabilidade hidrogeológica (CPRM, 2001), Caetano (2000) e Capucci (2003), apresentam diferenças na nomenclatura dos aquíferos, bem como subdivisões do aquífero denominado Terciário Barreiras (Figura 12, Figura 13 e Figura 14), cujos comparativos são apresentados na tabela 1.

Tabela 1 – Diferentes denominações dos aquíferos que ocorrem na região. MARTINS et al., (2006).

| CAETANO, 2000 | BARRETO et al. (2001) | CAPUCCI (2003) e MARTINS et al., (2006) |
|------------------------------|------------------------------|--|
| Terciário Formação Barreiras | Formação Barreiras | F. Barreiras Primitiva |
| | São Tomé I | F. Barreiras Recente |
| | São Tomé II | |
| Terciário Formação Emborê | Emborê | Emborê |
| Quaternário Deltaico | Flúvio Deltaico | Aluviões de Campos |

Fonte: MARTINS, 2015.

As principais características dos aquíferos existentes estão relacionadas no Projeto Rio de Janeiro (CPRM, 2001) como sendo:

Aquífero Flúvio Deltaico: Aquífero livre, localizado a sudoeste da cidade de Campos, na margem direita do Rio Paraíba do Sul, em uma área de aproximadamente 840 km². É constituído por sedimentos aflorantes de idade Quaternária, compostos por areias e arenitos de granulometria fina a média, com matriz siltosa e bandas argilosas, com espessuras variando entre 60 e 90m, sobreposto ao embasamento cristalino e sedimentos mais antigos. As águas são de boa qualidade, ocasionalmente ferruginosas.

Aquífero Emborê: É formado por sedimentos com intercalações de folhelhos e arenitos feldspáticos glauconíticos, com bastante linhita com espessura de 2 m. Há contato tectônico com as formações mais antigas. O Aquífero confinado, coberto por cerca de 90 a 120 m de sedimentos marinhos com água de boa qualidade em torno de 150 ppm de STD e cloreto cerca de 30 ppm. Alcança espessura de 2000 m. A permeabilidade média em 0,86 m/dia, capacidade específica de 4 a 7 m³/h/m, surgências de 15 a 20 m³/h (Capucci,2003). A lagoa Salgada está localizada sobre o aquífero Emborê.

Aquífero São Tomé II: É um aquífero confinado, totalmente coberto por sedimentos quaternários, com espessura de aproximadamente 230m, sendo que nas proximidades de Farol de São Tomé pode atingir até 2.000m, localiza-se em toda a parte leste da porção emersa da bacia de Campos, em uma área de aproximadamente 910 km². É composto por arenitos avermelhados, lateríticos com argilas cálcicas, sobre arenitos consolidados argilosos. As captações deste aquífero normalmente encontram-se entre 80 e 160 m de profundidades. Ocorrem águas ferruginosas com valor de sólidos totais dissolvidos entre 200 e 600 mg/l.

Aquífero São Tomé I: Ocorre em uma área de aproximadamente 380 km², formando uma faixa alongada no sentido NE-SW, na parte central da porção emersa da Bacia de Campos. É constituído por sedimentos não aflorantes, de idade paleógeno/neógeno, totalmente recobertos por sedimentos Quaternários. Esse sistema é composto por arenitos avermelhados, lateríticos com argilas calcíticas,

sobre arenitos consolidados argilosos. É um aquífero confinado com espessura de até 160 metros, sobreposto ao embasamento cristalino. Em relação a qualidade, podem ocorrer águas ferruginosas e os STD variam entre 500 e 1.800 mg/l.

Aquífero Barreiras: Ocorre em uma área de aproximadamente 1.630 km², localizado na borda oeste da Bacia de Campos, é constituído por sedimentos paleógeno/neógeno, aflorantes, compostos por argilas lateríticas e areias com óxido de ferro. É um aquífero livre e com águas normalmente ferruginosas.

3.9.2. Aquífero livre (ou Aquífero Superior)

Segundo estudos feitos pela companhia MPX/CRA (2007), a lagoa Salgada recebe influxo de água de um aquífero livre com características flúvio-lagunar marinho, resulta em grande heterogeneidade na formação do solo e deposição das camadas. Mediante investigações realizadas por sondagens a percussão e poços de monitoramento, instalados na área da Fazenda Caruara, situada na margem esquerda da Lagoa de Iquipari, a cerca de 3 km ao norte do empreendimento do Porto do Açú e estudado em 2010, também por MPX/CRA (MPX/CRA, 2010), na porção sul da Fazenda Saco Dantas, vizinha ao terreno do empreendimento.

A região do empreendimento está situada em planície sedimentar Quaternária, sobre a área de drenagem e irrigação denominada São Bento. Situado sobre o aquífero confinado São Tomé II que ocupa uma área de aproximadamente 910 km² dentro da bacia de Campos, a região de estudo apresenta uma camada de sedimentos não consolidados com espessura variável (LLX, 2011).

Conforme pontuado por MPX/CRA (2007), esse caráter livre do Aquífero Superior permite inclusive, qualificar este aquífero como interconectado com as águas superficiais locais, incluindo as Lagoas de Grussaí e Iquipari. LLX-AÇU/ECOLOGUS (2008) confirma essas características, evidenciando a interconexão do lençol livre subjacente ao terreno da Fazenda Saco Dantas e a Lagoa Iquipari.

Investigações geotécnicas e poços de monitoramento (LLX-AÇU/ECOLOGUS, 2008; MPX/CRA, 2010) instalados na região da Fazenda Saco

Dantas possui característica de fluxo subterrâneo em uma área de ampla extensão, que vai desde a porção mais próxima ao mar até a proximidade da lagoa Salgada, a Sudoeste do terreno.

Segundo os resultados obtidos da modelagem numérica (LLX, 2010) na área do Distrito Industrial indicaram a existência de fluxos radiais preferenciais nas direções oeste (canal do Quitingute), ao sul (lagoa Salgado ou lagoa Salgada) e a leste (oceano Atlântico), conforme mostrado pela Figura 15. A área do Distrito Industrial está localizada em um alto potenciométrico, um divisor hidráulico que impõe direções de fluxo preferenciais para as áreas de descargas da região (canais, rios, mar, lagoas etc.).

O presente estudo considerou esse aquífero livre como a principal fonte de água subterrânea à lagoa Salgada. Portanto, a sua caracterização, aqui denominado como Aquífero Superior, é importante para subsidiar as avaliações de recarga à lagoa.

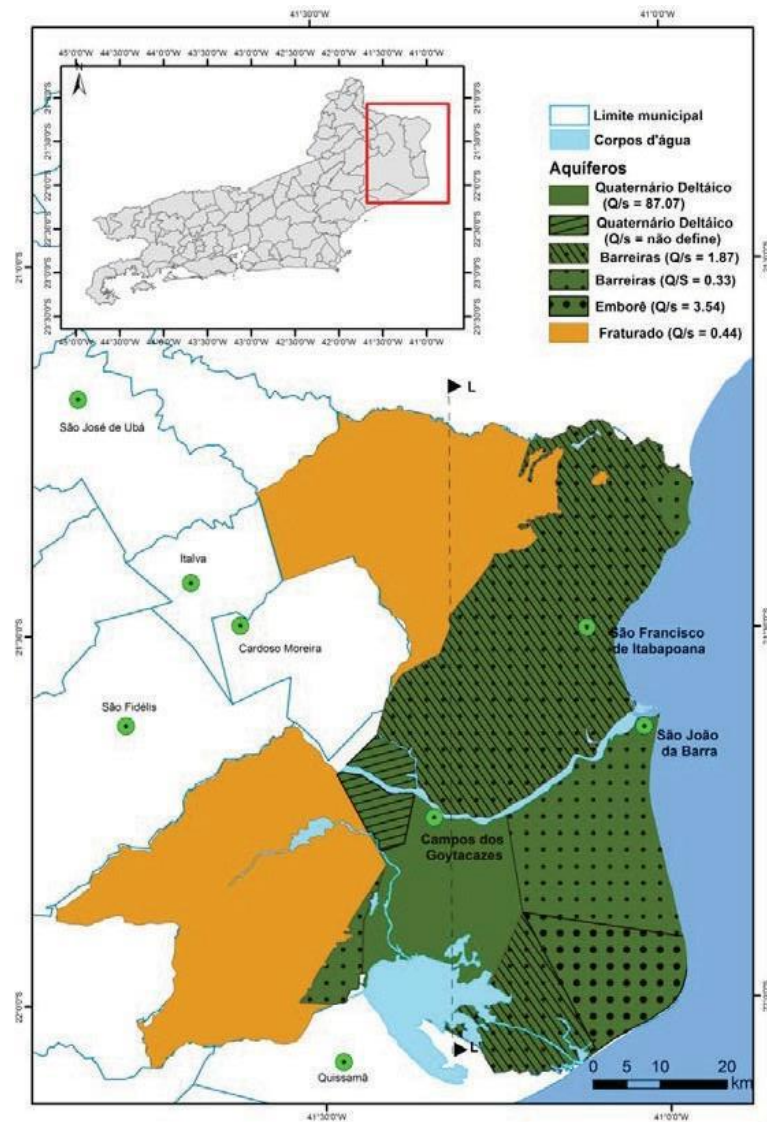


Figura 12 – Mapa de delimitação Caetano (2000).

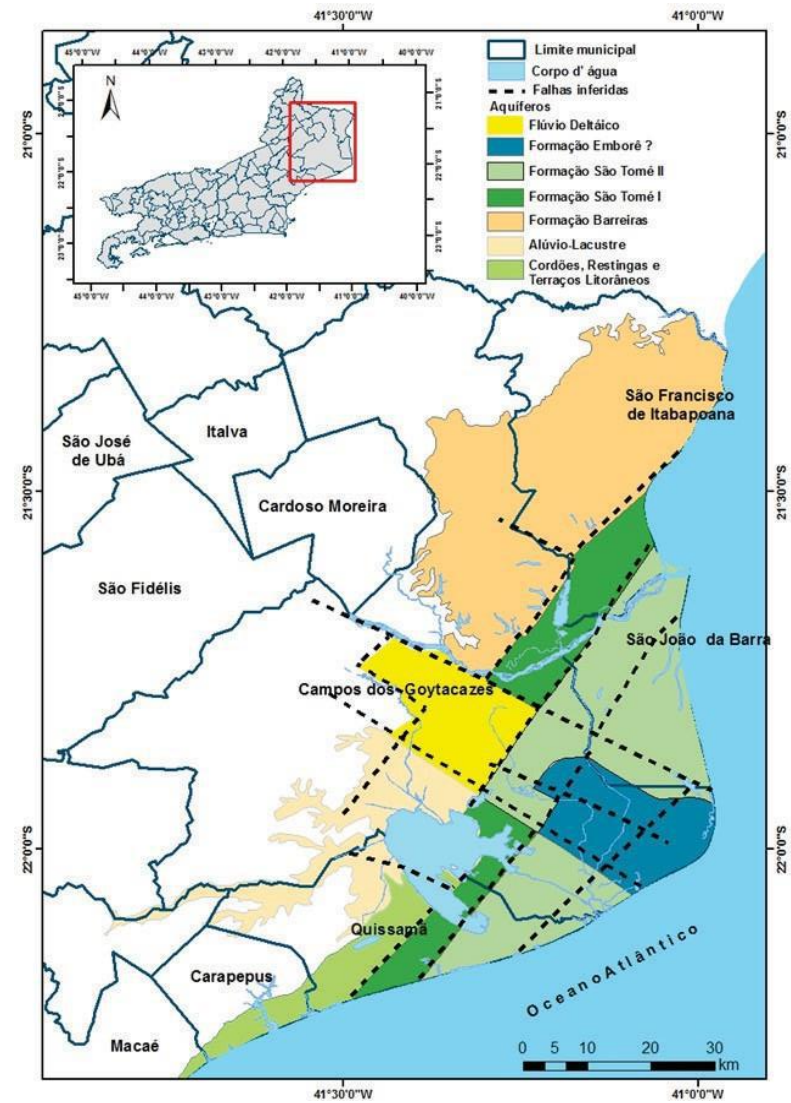


Figura 13 – Delimitações dos aquíferos segundo CPRM (2001).



Figura 14 – Subdivisões do aquífero sedimentar de Campos. Modificado de Capucci, 2003.

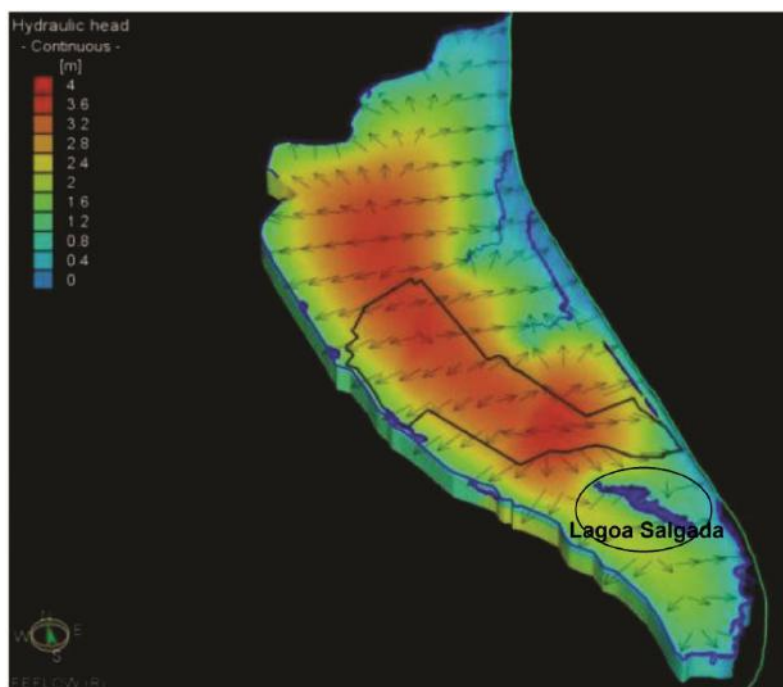


Figura 15 – Modelo numérico de fluxo subterrâneo, em regime permanente, da região do distrito industrial de São João da Barra e seu entrono. Fonte: EIA-RIMA, Porto do Açu, Volume VI-4.

4. METODOLOGIA

A metodologia do presente trabalho primeiramente requereu revisão bibliográfica a respeito da lagoa Salgada e sobre regiões adjacentes que englobou informações sobre a geologia, pedologia, hidrologia, hidrogeologia, geomorfologia, relevo e vegetação.

No *software* de sistema de informação geográfica Arcgis 10.1 foram confeccionados diversos mapas, dentre eles estão os mapas de localização, mapa da área de estudo, mapa de pontos. Além disso, foram medidas a área, o comprimento e a largura da lagoa. No *software* de geoprocessamento e sensoriamento remoto *Google Earth Pro* foi investigada ação antrópica no entorno da lagoa como, por exemplo, a alteração da vegetação à margem da mesma, instalação de uma comporta artificial que liga a lagoa Salgada à lagoa Açú e a construção do megaempreendimento do Porto do Açú ao norte da lagoa.

Posteriormente, dados de precipitação e temperatura foram obtidos da série histórica do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET (<http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/>) e do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE (<http://clima1.cptec.inpe.br/monitoramentobrasil/pt>) ambos relativos aos anos de 1975 a 2004. No INMET a precipitação e temperatura foram obtidas da estação de Cabo de São Tomé ao passo que do INPE a precipitação e temperatura foram obtidas de uma estação virtualmente criada ao lado da lagoa Salgada por uma modelagem matemática, portanto, requer cuidados na sua utilização. O lado positivo da sua utilização é a possibilidade da “existência” de dados de precipitação e temperatura adjacente à lagoa (Figura 16).

Também foram coletados dados de evapotranspiração potencial (ETP) no site da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - UFRRJ (<http://campuscg.ufrj.br/evapotranspiracao-eto/>) relativo aos de 2009 a 2016 e foram comparados com o valor que foi encontrado pelo *software* Visual Balan 2.0, a fim de verificar a precisão do programa. Os dados de evapotranspiração potencial obtidos pertence a cidade de Campos dos Goytacazes.



Figura 16 – Mapa das estações utilizadas no presente estudo.

O balanço hídrico foi feito com o *software* Visual Balan 2.0. O Visual Balan realiza balanços hídricos no solo, na zona insaturada e no aquífero, utilizando um ambiente interativo de entrada de dados e de processamento de resultados. Os termos essenciais são as entradas de precipitação, as de saídas são a evapotranspiração e interceptação (SAMPER *et al.*, 2006).

Para calcular grandezas fundamentais que serão utilizadas posteriormente no cálculo do armazenamento interno, tais como, evapotranspiração real e potencial, interceptação vegetal e vazão total de influxo de água subterrânea de entrada e saída à lagoa Salgada foi utilizado o *software* Visual Balan 2.0. A sequência lógica do processamento até a geração do resultado no *software* ocorre da seguinte maneira:

1. Leitura dos dados de entrada (Precipitação e temperatura).
 - Dados inseridos nas janelas do software;
2. Determinação prévias para o cálculo da ETP.
 - Leitura das tabelas necessárias para o cálculo do ETP;
 - Leitura dos dados climatológicos;
 - Pelo método Thornthwaite;
3. Balanço hidrometeorológico.
 - Inicialização das variáveis;
 - Realização do saldo para cada um dos períodos de tempo considerado;
 - Cálculo do ETP;
 - Cálculo da interceptação;
 - Cálculo do fluxo preferencial;
 - Cálculo do escoamento superficial;
 - Cálculo do ETR;
 - Cálculo do fluxo do solo;
 - Balanço na zona insaturada;
 - Balanço no aquífero;
 - Cálculo dos volumes mensais, anuais e totais dos diferentes componentes do balanço;
 - Envio dos resultados do programa fonte Fortran para o Visual Basic.
4. Saída de resultados:
 - Aba total de resultados acumulados;
 - Aba de resultados médios acumulados;
 - Aba de resultados diários;
 - Aba de resultados mensais;
 - Aba de resultados anuais;
 - Aba com níveis do aquífero.

A figura 17 mostra o design visual do *software*. Como mostrado na figura existem diversas abas e elas devem ser preenchidas com os valores adequados

para execução correta do Visual Balan. Dessa forma foi necessário investigar diversos parâmetros tais como:

Dados geográficos (latitude e longitude do lugar): O valor desse parâmetro foi obtido no Google Earth onde é possível identificar as coordenadas de uma determinada localidade pela ferramenta de marcação de pontos. O sistema de coordenada utilizada foi WGS 84 e datum UTM.

Dados hidrometeorológico (precipitação diária, temperatura média diária, dados de insolação real): A precipitação diária e a temperatura média diária foram obtidas no site do INMET e do INPE como já mencionados. Dado de insolação solar foi considerado 12 h de radiação solar por dia, considerando uma média anual, uma vez que no verão o dia dura mais que a noite e no inverno a noite dura mais que o dia.

Dados de solo (parâmetros do solo: porosidade, capacidade de campo, ponto de murcha, umidade do solo, espessura do solo e condutividade hidráulica): A porosidade foi obtida com auxílio do *software* Visual Balan 2.0. No próprio *software* são disponibilizados opções de valores de acordo com o solo. A área de estudo é caracterizada pela ocorrência de rochas sedimentares aluvionais, portanto foi escolhido o valor de acordo. A capacidade de campo e ponto de murcha foi aferido de acordo com valores referenciados, escolhemos a opção de solos areno-argilosos. A umidade, espessura do solo e a condutividade hidráulica foram obtidas através de estudos realizados na região, tais como: Bernardes, 2005 e Fontana, 2004.

Cálculo da evapotranspiração potencial (ETP) – Thornthwaite: Método empírico baseado apenas na temperatura média do ar. Esse método parte do pressuposto que um mês tem 30 dias e o número de horas com incidência solar é de 12 h.

Dados sobre os métodos do cálculo do balanço (Coeficiente da curva da capacidade de infiltração - CIM0 e CIM1 e método de recarga em transito); dados da zona não saturada (condutividade vertical e teor de água inicial). O CIM0 é o valor da capacidade de infiltração (quantidade de água da chuva que o solo pode absorver na unidade de tempo) que é alcançado após um certo tempo quando o solo

encontra uma umidade igual ou maior que a capacidade de campo. O CIM1 é o valor máximo da capacidade de infiltração no início da chuva (quando o solo está em condições de murchamento). Como a cobertura vegetal é irregular (com áreas vegetadas outras na maior parte descampadas), com declividade plana e com baixo grau de urbanização consideramos o grau de escoamento mínimo com CIM0 e CIM1 máximos. Com isso concluímos que o método de recarga em transito não se dar por inundação e nem por fissuras, mas sim principalmente precipitação direta. Os dados da zona não saturada como a condutividade vertical e o teor de água inicial foram obtidos do estudo de Impacto Ambiental (EIA/RIMA) do Porto do Açú.

Dados do aquífero (porosidade drenável, transmissividade e nível freático de referência): Os valores desses parâmetros foram obtidos do estudo realizado por Caetano (2000) e Chrispim (2016).

Cálculo da interceptação (tipo de cobertura vegetal, altura da planta, capacidade de armazenamento e coeficiente de interceptação): A cobertura da vegetação é heterogênia devida ação antrópica. No entanto predomina ambiente de restinga, portanto sendo composta por pequenas herbáceas de alturas não superiores a 0,2 m. A capacidade de armazenamento e o coeficiente de interceptação há no *software* Visual Balan valores orientativos. Os valores foram colocados conforme essas características da vegetação.

Após os parâmetros serem preenchidos os resultados de evapotranspiração real, interceptação vegetal, saída de água subterrânea pelos limites, recarga subterrânea à lagoa serão gerados. Dessa forma poderemos usar a equação do balanço hídrico para estimar quanto de água armazenada há na lagoa. Para o cálculo do balanço hídrico foi utilizado a seguinte equação:

$$\frac{dV}{dt} = (P + R_s) - (ETR + Q_s + I) \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

$\frac{dV}{dt}$ = Armazenamento de água na lagoa;

P = Precipitação sobre a bacia;

R_s = Recarga subterránea;

ETR = Evapotranspiração real;

Q_s = Saída de água subterránea pelos limites;

I = Interceptação vegetal.

The screenshot displays the Visual Balan software interface with several windows open. The main window shows a table of precipitation data for a station from 01/01/1975 to 31/01/1975. Other windows include 'Cálculo de la Intercepción', 'Parámetros del Acuífero', 'Datos del Suelo Edáfico', 'Datos Geográficos', and 'Método del Cálculo de la Ecuación'.

| Fecha | Precipitación (mm) | Temperatura (°C) | Concentración del agua de lluvia (mm) | Horas de sol (h) | Velocidad del viento (Km/h) | Humedad relativa (%) | Relación velocidad del viento diurno y nocturna | Etp (mm) |
|------------|--------------------|------------------|---------------------------------------|------------------|-----------------------------|----------------------|---|----------|
| 01/01/1975 | 17.2 | 23.52 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 02/01/1975 | 12.8 | 20.4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 03/01/1975 | 34.2 | 22.22 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 04/01/1975 | 2.2 | 21.24 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 05/01/1975 | 24.4 | 21.82 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 06/01/1975 | 5 | 22.08 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 07/01/1975 | 0.4 | 24.92 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 08/01/1975 | 0.8 | 24.88 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 09/01/1975 | 0.2 | 25.88 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10/01/1975 | 0 | 27.64 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 11/01/1975 | 0 | 28.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 12/01/1975 | 0 | 28.18 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 13/01/1975 | 0 | 28.3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 14/01/1975 | 0 | 27.96 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 15/01/1975 | 0 | 27.84 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 16/01/1975 | 0 | 27.58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 17/01/1975 | 0 | 27.86 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 18/01/1975 | 0 | 28.22 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 19/01/1975 | 10 | 24.64 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 20/01/1975 | 18.8 | 23.78 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 21/01/1975 | 3 | 21.84 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Figura 17 - Dados de entrada dos parâmetros.

5. RESULTADOS

5.1. Software Visual Balan 2.0

A tabela 2 mostra os parâmetros e seus respectivos valores utilizados. Ela foi elaborada principalmente a partir de informações provenientes de revisão bibliográfica dos parâmetros de propriedades do solo, de dados climatológicos, da vegetação e propriedades do aquífero. Os valores dos parâmetros podem ser encontrados nas seguintes obras: Bernardes (2005), Caetano (2000), Chrispim (2016), Fontana (2004), LLX-AÇU/ECOLOGUS (2008). Alguns parâmetros, tais como: porosidade, capacidade de campo, ponto de murcha, umidade inicial do solo, capacidade de armazenamento, coeficiente de interceptação, coeficiente da curva da capacidade de infiltração - CIM0 e CIM foram definidos baseados no conhecimento das características da região e com isso foram inseridos valores correspondentes do *software*. Outros valores foram obtidos em fontes específicas, como por exemplo: localidade (Google Earth), temperatura e precipitação (site do INMET e do INPE).

Tabela 2 – Valores dos parâmetros utilizados no Visual Balan.

| Projeto: Lagoa Salgada | |
|---|------------|
| Ajuste Automático | Não |
| Análise de Sensibilidade | Não |
| Balanço de Massas | |
| Número de dados e umidade e concentração | 0 |
| Cálculo da evapotranspiração real | |
| PENMAN-GRINDLEY | 1 |
| ETP | |
| THORNTHWAITE | 1 |
| Dados geográficos | |
| Graus | 21 |
| Minutos | 54 |
| Segundos | 39 |
| Área da bacia (km ²) | 50 |
| Dados hidrometeorológicos | |
| Nome do arquivo com dados de precipitação | PLUVIT.DAT |
| Primeiro ano da série | 1975 |
| Número de anos | 30 |

| | |
|---|----------------------------|
| Formato ForTran | (I2,1X,I2,1X,I2,2X,3E15.5) |
| Média diária | 0 |
| Fator de correção | 0 |
| Último ano da série | 31/12/2005 |
| Intervalo de tempo do balanço | 1 |
| Velocidade média do vento (km/dia) | 0 |
| Mínimo | 0 |
| Máximo | 0 |
| Altitude media da bacia (m) | 0 |
| Capacidade de retenção da neve (entre 0 e 1) | 0 |
| Capacidade mínima de infiltração da neve (mm/d) | 0 |
| Capacidade máxima de infiltração da neve (mm/d) | 0 |
| Irrigação | |
| Número de meses com irrigação | 360 |
| Número de irrigação | 0 |
| Recarga em trânsito | |
| Método convencional | Sim |
| Sem fluxo preferente | Sim |
| Cálculo de interceptação | |
| Tipo de cobertura vegetal | Pequenas herbáceas |
| Altura da planta (m) | 0,2 |
| Capacidade de armazenamento | 1,67 |
| Coefficiente de interceptação | 0,33 |
| Parâmetros do aquífero | |
| Calcular | Sim |
| Coefficiente de armazenamento (adimensional) | 0,1 |
| Nível inicial (m) | 4 |
| Nível de descarga (m) | 5 |
| Funções de recarga e gotejo | |
| Funções de recarga | Não |
| Funções de gotejo | Não |
| Dados do solo edáfico | |
| Porosidade total | 0,35 |
| Capacidade de campo | 0,3 |
| Ponto de murcha | 0,2 |
| Conteúdo de umidade inicial | 0,2 |
| Concentração inicial do traçador (mg/l) | 0 |
| Espessura (m) | 0,5 |
| Condutividade hidráulica (cm/s) | 0,027778 |
| Zona não saturada | |
| Calcular | Sim |
| Condutividade hidráulica vertical (mm/dia) | 24 |
| Conteúdo inicial de água (mm) | 10 |

| | |
|--|------|
| Método Explícito | 1 |
| Método de cálculo do escoamento | |
| Capacidade de infiltração para solo em condições de capacidade de campo, CIM \emptyset (em mm/dia) | 20 |
| Capacidade de infiltração para solo a ponto de murcha, CIM1 (em mm/dia) | 30 |
| Divisão da bacia | |
| Sub-bacia | 1 |
| Estações meteorológicas | 2 |
| Estações de medições | 0 |
| Estações piezométricas | 0 |
| Instalações de irrigação | 0 |
| Primeiro ano hidrológico | 1975 |
| Número de anos hidrológicos | 30 |

Após o preenchimento e execução do *software* Visual Balan 2.0, foram fornecidos os resultados. Foram obtidos dois resultados, um relativo à série histórica do INMET da estação Cabo de São Tomé a sudeste da cidade de Campos dos Goytacazes e outro relativo à série histórica do INPE a partir de uma modelagem matemática. A tabela 3 e a tabela 4 já fornecem os resultados do armazenamento interno da lagoa obtidos através da equação 1.

Tabela 3 Dados gerados do *software* Visual Balan pertencente à estação do INMET.

| Data | Precipitação (mm/ano) | Recarga subterrânea (mm/ano) | ETR (mm/ano) | Saída de água subterrânea (mm/ano) | Interceptação vegetal (mm/ano) | Armazenam. interno da lagoa (mm/ano) |
|------|-----------------------|------------------------------|--------------|------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|
| 1975 | 846,80 | 226,20 | 444,10 | 45,76 | 146,10 | 437,04 |
| 1976 | 673,40 | 178,96 | 374,40 | 14,07 | 119,90 | 343,99 |
| 1977 | 783,20 | 153,92 | 454,40 | 37,28 | 138,70 | 306,74 |
| 1978 | 932,80 | 245,80 | 384,20 | 136,12 | 161,80 | 496,48 |
| 1979 | 586,40 | 150,46 | 282,70 | 44,76 | 104,30 | 305,10 |
| 1980 | 593,20 | 127,24 | 301,90 | 54,96 | 104,30 | 259,28 |
| 1981 | 783,20 | 227,00 | 314,90 | 107,24 | 136,50 | 451,56 |
| 1982 | 1270,00 | 418,80 | 451,40 | 178,36 | 216,70 | 842,34 |
| 1983 | 1029,00 | 318,80 | 448,20 | 98,38 | 177,20 | 624,02 |
| 1984 | 1235,00 | 318,80 | 443,40 | 251,00 | 210,90 | 648,50 |

| Data | Precipitação (mm/ano) | Recarga subterrânea (mm/ano) | ETR (mm/ano) | Saída de água subterrânea (mm/ano) | Interceptação vegetal (mm/ano) | Armazenam. interno da lagoa (mm/ano) |
|------|--------------------------|------------------------------------|-----------------|---|--------------------------------------|---|
| 1985 | 946,40 | 297,60 | 379,10 | 112,48 | 163,10 | 589,32 |
| 1986 | 542,50 | 106,28 | 312,70 | 14,16 | 97,05 | 224,87 |
| 1987 | 808,20 | 203,20 | 405,20 | 63,08 | 140,90 | 402,22 |
| 1988 | 843,90 | 225,00 | 400,00 | 71,84 | 145,60 | 451,46 |
| 1989 | 540,70 | 107,24 | 271,90 | 68,78 | 95,78 | 211,48 |
| 1990 | 716,10 | 177,92 | 352,80 | 54,82 | 125,50 | 360,90 |
| 1991 | 689,40 | 104,98 | 370,70 | 90,76 | 120,50 | 212,42 |
| 1992 | 614,10 | 155,72 | 283,20 | 72,50 | 106,90 | 307,22 |
| 1993 | 805,70 | 225,20 | 422,20 | 20,10 | 138,20 | 450,40 |
| 1994 | 661,60 | 128,18 | 367,80 | 53,38 | 116,60 | 252,00 |
| 1995 | 634,40 | 127,78 | 380,90 | 25,10 | 112,90 | 243,28 |
| 1996 | 684,90 | 132,40 | 326,90 | 91,58 | 119,50 | 279,32 |
| 1997 | 613,90 | 176,36 | 294,00 | 35,78 | 108,30 | 352,18 |
| 1998 | 516,10 | 57,12 | 364,10 | 1,66 | 93,47 | 113,99 |
| 1999 | 454,00 | 78,46 | 296,10 | 6,45 | 82,98 | 146,93 |
| 2000 | 722,60 | 151,44 | 410,80 | 31,44 | 126,30 | 305,50 |
| 2001 | 545,50 | 126,88 | 289,20 | 36,98 | 96,97 | 249,23 |
| 2002 | 626,00 | 127,78 | 319,10 | 40,92 | 110,80 | 282,96 |
| 2003 | 691,40 | 155,42 | 370,10 | 54,32 | 120,90 | 301,50 |
| 2004 | 245,70 | 74,28 | 126,50 | 20,14 | 42,67 | 130,67 |

Tabela 4 Dados gerados do software Visual Balan pertencente à estação do INPE.

| Data | Precipitação (mm/ano) | Recarga subterrânea (mm/ano) | ETR (mm/ano) | Saída de água subterrânea (mm/ano) | Interceptação vegetal (mm/ano) | Armazenam. interno da lagoa (mm/ano) |
|------|--------------------------|------------------------------------|-----------------|---|--------------------------------------|---|
| 1975 | 626,40 | 129,00 | 364,30 | 23,48 | 109,60 | 258,02 |
| 1976 | 648,70 | 155,04 | 319,00 | 83,88 | 112,50 | 288,36 |
| 1977 | 538,80 | 104,90 | 307,60 | 26,94 | 94,88 | 214,28 |
| 1978 | 786,00 | 201,20 | 379,50 | 60,70 | 133,70 | 413,30 |
| 1979 | 846,80 | 224,20 | 408,50 | 58,18 | 146,50 | 457,82 |
| 1980 | 1288,00 | 466,80 | 489,30 | 136,10 | 217,80 | 911,60 |
| 1981 | 1269,00 | 370,20 | 538,20 | 143,76 | 215,00 | 742,24 |

| Data | Precipitação (mm/ano) | Recarga subterrânea (mm/ano) | ETR (mm/ano) | Saída de água subterrânea (mm/ano) | Interceptação vegetal (mm/ano) | Armazenam. interno da lagoa (mm/ano) |
|------|--------------------------|------------------------------------|-----------------|---|--------------------------------------|---|
| 1982 | 1020,00 | 273,80 | 529,20 | 28,88 | 175,30 | 560,42 |
| 1983 | 1143,00 | 343,20 | 494,50 | 110,18 | 195,00 | 686,52 |
| 1984 | 1026,00 | 276,60 | 448,70 | 125,60 | 174,70 | 553,60 |
| 1985 | 778,20 | 203,20 | 410,50 | 38,26 | 135,60 | 397,04 |
| 1986 | 931,70 | 245,40 | 376,80 | 156,82 | 159,90 | 483,58 |
| 1987 | 1133,00 | 346,80 | 534,70 | 48,96 | 195,70 | 700,44 |
| 1988 | 938,40 | 273,00 | 485,40 | 16,54 | 163,00 | 546,46 |
| 1989 | 808,00 | 200,40 | 442,10 | 27,68 | 139,70 | 398,92 |
| 1990 | 1110,00 | 296,60 | 496,30 | 129,08 | 189,60 | 591,62 |
| 1991 | 1224,00 | 416,60 | 554,90 | 37,42 | 208,00 | 840,28 |
| 1992 | 1230,00 | 390,80 | 525,40 | 107,32 | 209,10 | 778,98 |
| 1993 | 937,10 | 273,60 | 427,50 | 83,12 | 160,50 | 539,58 |
| 1994 | 1095,00 | 320,40 | 463,20 | 118,46 | 187,70 | 646,04 |
| 1995 | 896,20 | 249,80 | 459,40 | 19,51 | 154,00 | 513,09 |
| 1996 | 1158,00 | 345,20 | 510,70 | 106,90 | 196,10 | 689,50 |
| 1997 | 1113,00 | 320,80 | 524,50 | 92,20 | 189,80 | 627,30 |
| 1998 | 777,80 | 197,08 | 387,00 | 61,30 | 134,70 | 391,88 |
| 1999 | 839,70 | 225,40 | 402,50 | 55,04 | 144,10 | 463,46 |
| 2000 | 1202,00 | 370,60 | 470,90 | 157,72 | 204,80 | 739,18 |
| 2001 | 650,50 | 153,04 | 364,50 | 29,24 | 112,80 | 297,00 |
| 2002 | 398,80 | 128,82 | 196,00 | 10,96 | 70,40 | 250,26 |
| 2003 | 1008,00 | 271,80 | 414,40 | 148,20 | 171,90 | 545,30 |
| 2004 | 307,80 | 75,00 | 108,70 | 53,60 | 52,01 | 168,49 |

Os resultados mostram que tanto os dados gerados pelo INMET (Tabela 3) quanto pelo INPE (Tabela 4) há sempre superávit hídrico na lagoa Salgada. Quando são analisados os dados gerados pelo INMET ao longo desses 30 anos, o ano que registrou o pico de armazenamento de água foi o ano de 1982 com 842 mm anual e o ano que registrou o mínimo foi o ano de 1998 com apenas armazenamento de 113 mm anual. A média gerada por essa estação aponta valor de aproximadamente 352 mm anuais.

Na série histórica relativa à estação do INPE, o valor máximo de armazenamento interno de água na lagoa foi relativo ao ano de 1980 que registrou

911,60 mm anual e o valor mínimo encontrado foi no ano de 2004 registrando 168,49 mm/anual. O valor médio de armazenamento para essa estação foi de 523,15 mm anuais.

Quando são comparados os valores obtidos da estação do INMET no Cabo de São Tomé com os valores obtidos dos dados de modelagem matemática da estação do INPE são verificadas pequenas diferenças entre os valores obtidos de máximos e mínimos, ou seja, não ultrapassa 70 mm anual. No entanto, em relação à média ao longo de 30 anos há diferença de 171 mm anuais. Essa diferença pode ser atribuída à pequena falta de ajuste no modelo matemático ou mudança climatológica de uma região para a outra.

5.2. Precipitação x Evapotranspiração real

Foi feito uma análise mensal dos valores de precipitação e evapotranspiração real de 1975 a 2004. Os valores mensais obtidos do *software* Visual Balan 2.0 estão expostos na tabela 5 e na tabela 6.

Tabela 5 – Dados mensais de precipitação (INMET) e evapotranspiração real (Visual Balan) na área do estudo.

| | Precipitação (mm) | Evapotranspiração real (mm) |
|-----|------------------------------|--|
| Jan | 126,80 | 81,88 |
| Fev | 53,50 | 28,91 |
| Mar | 108,80 | 46,93 |
| Abr | 59,00 | 37,61 |
| Mai | 43,40 | 37,11 |
| Jun | 37,80 | 12,10 |
| Jul | 37,90 | 22,10 |
| Ago | 30,10 | 16,01 |
| Set | 61,10 | 23,63 |
| Out | 69,10 | 39,30 |
| Nov | 108,50 | 53,23 |
| Dez | 152,40 | 52,44 |

Tabela 6 - Dados mensais da série artificial de precipitação (INPE) e evapotranspiração real (Visual Balan) na área do estudo.

| | Precipitação (mm) | Evapotranspiração real (mm) |
|-----|-------------------|-----------------------------|
| Jan | 122,40 | 46,83 |
| Fev | 47,29 | 28,11 |
| Mar | 110,70 | 34,62 |
| Abr | 68,11 | 35,27 |
| Mai | 54,00 | 23,58 |
| Jun | 34,97 | 27,78 |
| Jul | 35,21 | 32,68 |
| Ago | 29,38 | 39,35 |
| Set | 56,49 | 27,52 |
| Out | 71,10 | 40,06 |
| Nov | 138,00 | 49,11 |
| Dez | 156,50 | 55,88 |

Dessa forma foi elaborada a figura 18, com dados da série histórica de precipitação e evapotranspiração real mensal relativo ao INMET e com a série histórica com dados de precipitação e evapotranspiração real mensal relativo ao INPE.

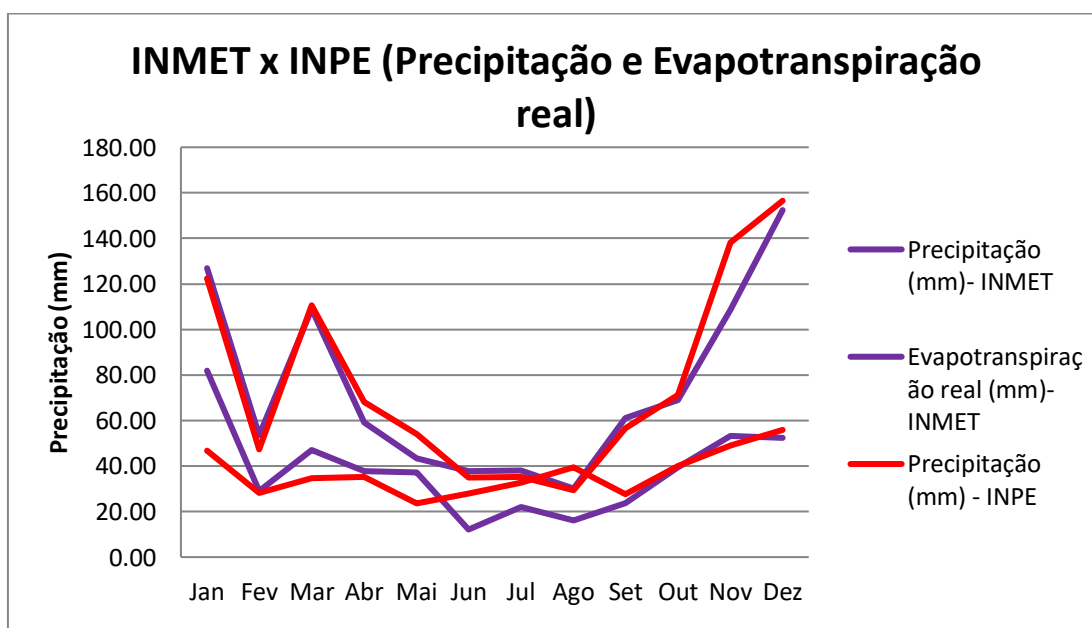


Figura 18 – Precipitação e evapotranspiração real média ao longo de 30 anos relativo as estações do INMET e do INPE.

De acordo com a figura gerada é observado uma queda abrupta de precipitação em fevereiro e que os meses de maior precipitação são novembro, dezembro e janeiro e de menor são os meses de junho, julho e agosto. A respeito à evapotranspiração real da estação do INMET podemos verificar que ela tem uma tendência em acompanhar a quantidade de chuva, quando há aumento de precipitação há um ligeiro aumento da evapotranspiração real e é mostrado que a diferença entre essas duas variáveis diminui consideravelmente nos meses de estiagem e aumenta consideravelmente nos meses chuvosos. Quanto à evapotranspiração real da estação do INPE há um considerável aumento nos meses de estiagem chegando a ultrapassar a precipitação no mês de agosto enquanto que nos meses chuvosos essa diferença é bem marcada.

5.3. Evapotranspiração potencial: medidas de campo (UFRRJ) e simulações com o Visual Balan

Foram obtidos dados de Evapotranspiração Potencial (ETP) do estudo elaborado pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), relativos aos anos de 2009 a 2016, tomados na cidade de Campos dos Goytacazes através do uso de um lisímetro acoplado a uma estação pluviométrica. De modo simultâneo, foram gerados através do *software* Visual Balan 2.0 resultados de ETP (tabela 7) da estação do INMET na mesma cidade, no Cabo de São Tomé. A comparação dos dois métodos para a obtenção da ETP pode ser observada na figura 19.

Tabela 7 – Valores de ETP obtidos pelo estudo feito pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro e valores simulados com o *software* Visual Balan.

| | UFRRJ (mm) | Visual Balan (mm) |
|------|-------------------|--------------------------|
| 2009 | 1432 | 1447 |
| 2010 | 1373 | 1354 |
| 2011 | 1293 | 1261 |
| 2012 | 1356 | 1372 |
| 2013 | 1310 | 1338 |
| 2014 | 1397 | 1403 |
| 2015 | 1482 | 1443 |
| 2016 | 1426 | 1417 |

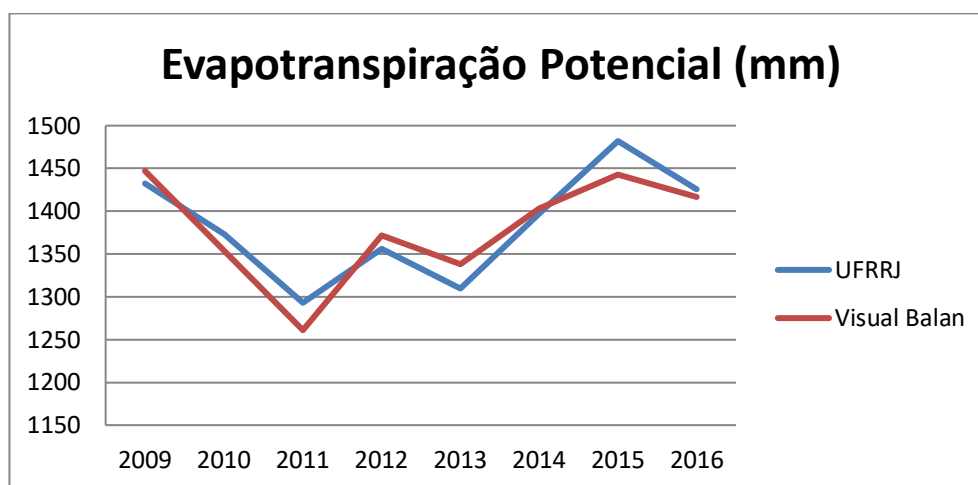


Figura 18 – ETP da UFRRJ comparado ao gerado pela ferramenta Visual Balan.

Pode-se avaliar da figura 20 que o resultado obtido pelo modelo teórico realizado pelo *software Visual Balan 2.0* está razoavelmente ajustado com os valores obtidos pela medição indireta elaborada pela UFRRJ. A diferença entre esses dois métodos não ultrapassa os 50 mm/anuais e ambas possuem um pico e declínio de evapotranspiração potencial coincidentes.

6. CONCLUSÃO

Através dos resultados obtidos nesta dissertação, foi possível quantificar o armazenamento interno de água na lagoa Salgada anual. Para a estação do INMET a média de armazenamento interno de água da lagoa ficou em aproximadamente em 352 mm anuais enquanto que para a estação do INPE esse valor ficou mais alto, em cerca de 520 mm anuais. Foram utilizados dois métodos para isso: um com os dados do INMET com uma estação no Cabo de São Tomé a sudeste da cidade de Campos dos Goytacazes; e outro com dados de modelagem matemática feita pelo INPE sendo que essa estação está virtualmente ao lado da lagoa Salgada. Os dois modelos apresentam concordância quanto ao máximo e mínimo de armazenamento de água da lagoa, enquanto com relação a média de

armazenamento de água os dados do INPE foram maiores em relação aos dados obtidos no INMET em cerca de 171 mm/anuais.

Foi realizado um estudo mensal e verificou-se que os meses em que a lagoa Salgada está propícia a cheias são os meses de novembro, dezembro e janeiro. Na estação do INMET, esses meses têm média de precipitação de 129 mm e de evapotranspiração real de 62 mm. Com relação à estação INPE a precipitação e evapotranspiração real são respectivamente 138 e 50 mm. Os meses em que ela é favorável à estiagem são os meses de junho, julho e agosto. Na estação do INMET apresenta-se uma média de precipitação de aproximadamente de 35 mm e de evapotranspiração real de 16 mm. Com relação à estação do INPE, a precipitação é de 33,1 mm e a evapotranspiração real é de 33,2 mm, ou seja, a evapotranspiração real nos meses de estiagem pode superar a precipitação. Quando é comparada a precipitação e evapotranspiração real mensal, entre a estação do INMET e do INPE, há pequenas diferenças entre os valores obtidos. No resultado dos dados da estação do INMET, a evapotranspiração real sempre está abaixo da precipitação e seus picos e declínios entre eles coincidentes. No entanto, quando é comparado com o resultado obtido do INPE, no mês de agosto, a evapotranspiração real chega a ultrapassar a precipitação mostrando que é um mês que possui um déficit hídrico.

Foi comparado a evapotranspiração potencial, dos anos relativos ao período de 2009 até 2016, feita pela Universidade Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) com a evapotranspiração potencial obtido do Visual Balan 2.0 (dados de precipitação retirados do site do INMET). Os resultados mostram de modo satisfatório aproximação entre os dois métodos, a diferença entre eles não ultrapassa 50 mm anuais, com picos e declínios sincrônicos.

As diferenças encontradas nos resultados obtidos do INMET com os resultados obtidos pelo INPE estão intimamente ligadas à entrada de valores diferentes somente dos parâmetros de precipitação e temperatura. Os resultados obtidos pelo INMET possuem maior confiabilidade, porque são dados reais medidos pela estação presente em Cabo de São Tomé a uma distância de 7 km da lagoa Salgada. Essa estação não é distante da lagoa e não há uma barreira orogênica, portanto foi interessante para efeito comparativo fazer um estudo análogo com uma

estação virtualmente criada ao lado da lagoa através de uma modelagem matemática a fim de verificar a sua precisão. O presente trabalho contribuiu para examinar o quanto se ajusta a realidade os dados provenientes da modelagem matemática em relação ao realizado com software Visual Balan 2.0. Portanto, de acordo com esse estudo, o resultado gerado pelo INPE carece de pequenos ajustes em sua modelagem para uma melhor representação da realidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGEITEC. Agência Embrapa de Informação Tecnológica. **EMBRAPA**. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONTAG01_10_2212200611540.html>. Acesso em: 23 Novembro 2018.
- ANA - Agência Nacional de Águas. Séries Históricas de Estações. Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/medicoes_historicas_abas.jsf>. Acesso em: 31 de outubro de 2018.
- BERLATO, M. AND MOLION, L.C.B. (1981). **Evaporation and Evapotranspiration**. Bulletin IPAGRO, 7, 3-96.
- BERNARDES, Rejane,S. **Condutividade hidráulica de três solos da Região Norte Fluminense**. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro; Abril de 2005.
- BERTONI, J.C.; TUCCI, C.E.M. Precipitação. In: TUCCI, C.E.M. **Hidrologia ciência e aplicação**. Porto Alegre: ABRH, 1993. p.177-242.
- BIDEGAIN, P. **14 Lagoas do Norte Fluminense**. Projeto Planágua Semads / GTZ. Rio de Janeiro, p. 148. 2002. (ISBN 85-87206-17-6).
- CAETANO, L.C. **Águas subterrâneas para o Município de Campos dos Goytacazes: Uma opção para o abastecimento**. Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências. Campinas, Dissertação de mestrado, 2000.
- CAPUCCI, E. **Água Subterrânea na Baixada Campista**. Anais do I Simpósio de Hidrogeologia do Sudeste, 2003. Petrópolis, RJ. ABAS - Associação Brasileira de Águas Subterrâneas. 2003.
- CARVALHO, D. F. D. Hidrologia - Precipitação. In: SILVA, L. D. B. D. **Precipitação**. [S.l.]: [s.n.], v. Único, 2006. Cap. 4, p. 27.
- CHRISPIM, Z. M. P. **Análise de vulnerabilidade e caracterização hidrogeoquímica dos aquíferos livres rasos da parte emersa da bacia sedimentar de campos**. Tese de Doutorado. Campos dos Goytacazes-RJ. UENF, 2016.
- CPRM – **Companhia de pesquisa de recursos minerais (2001)**. SILVA, L. C.; CUNHA, H. C. S. (2001). Geologia do estado do Rio de Janeiro. Brasília: CPRM. CD-ROM. 2001.
- DANTAS, M. E. **Geomorfologia do Estado do Rio de Janeiro: texto explicativo do mapa geomorfológico do Estado do Rio de Janeiro**. Escala 1:50.000. Rio de Janeiro: CPRM; Niteroi: DRM-RJ. 2000.
- ENCO.Engenharia, Consultoria e Planejamento Ltda. **Relatório referente à execução dos serviços técnicos especializados de água subterrânea no Município de Campos dos Goytacazes, Estado do Rio de Janeiro. Anexo "A"- Inventário dos Poços na Região de Campos**. Rio de Janeiro, 1982, 156 p.

ESRI (ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE). Arcgis, 1999. Disponível em: <<https://www.esri.com/en-us/home>>. Acesso em: 21 novembro 2018.

FEITOSA, F.A.C; MANUEL FILHO, J. **HIDROGEOLOGIA: conceitos e aplicações**. Pernambuco: CPRM/REFO, LABHID-UFPE, 2000.

FONTANA, A.; PEREIRA, M. G.; NASCIMENTO, G. B. do e ANJOS, L. H. C. dos. **Disponibilidade de água e propriedades edáficas em solos de tabuleiro no estado do Rio de Janeiro**. Revista Universidade Rural: Série Ciências da Vida, Seropédica, RJ: EDUR, v. 24, n.2, p. 1-7, jul.-dez., 2004.

FUNDAÇÃO COPPETEC. **Elaboração do plano estadual de recursos hídricos do Estado do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: INEA, 2013.

HENRIQUES, R. P. B.; ARAÚJO, D. S. D.; HAY, J. D. (1986). **Descrição e classificação dos tipos de vegetação de restinga de Carapebus, Rio de Janeiro**. Revista Brasileira de Botânica. 9: 173-189.

IBGE. **Atlas geográfico**. Rio de Janeiro, 1992. 113p.

INMET. Dados históricos. **BDMEP - Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 25 Novembro 2018.

INPE. Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos. **Dados observacionais**. Disponível em: <<http://bancodedados.cptec.inpe.br/>>. Acesso em: 25 Novembro 2018.

KOBIYAMA, M.; GENZ, F.; MENDIONDO, E.M. Geo-Bio-Hidrologia. In: FÓRUM GEO-BIO-HIDROLOGIA: **ESTUDO EM VERTENTES E MICROBACIAS HIDROGRÁFICAS**, 1, 1998, Curitiba. Anais... Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 1998, p.1-25.

KÖPPEN, W. **Climatologia**: con un estudio de los climas de la tierra. México: Fondo de Cultura Economica, 1948. 478 p.

LAMEGO V.E., MANSUR K.L., SILVA JÚNIOR G.C., ROSA D.S. 2016. **Análise de alguns parâmetros físico-químicos da água, estudos de variação do espelho d'água e avaliação de possível contaminação da Lagoa Salgada, Rio de Janeiro**. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 48, Porto Alegre.

LLX-AÇU/ECOLOGUS, 2008. **Estudo de Impacto Ambiental do Pátio Logístico e Operações Portuárias Porto do Açú**. Rio de Janeiro, Ecologus Engenharia Consultiva.

LLX-AÇU Operações Portuárias S/A. **Estudo Impacto Ambiental na implementação e operações das infraestruturas do Distrito Industrial de São João da Barra**, 2011- CDROM.

MANSUR, K. L. Documents 62. **Diagnóstico do Meio Físico da Bacia Hidrográfica do Rio Doce/Canal Quitungute (BHRD) - RJ**, Rio de Janeiro, Dezembro 2004. 59.

MARTIN, L, BITTENCOURT; A.C.S,P; VILAS-BOAS, G,S. **Primeira ocorrência de corais/pleistocênicos na costa brasileira. Datação do máximo da penúltima transgressão.** Revista Ciência da Terra, 1. 3-17, 1997. In: TERNIUM/ECOLOGUS. **Estudo de Impacto Ambiental da Siderúrgica Ternium Brasil.** Rio de Janeiro, Ecologus Engenharia Consultiva, 2010.

MARTIN, L. Anais do XXVIII Congresso Brasileiro de Geologia. **EVOLUÇÃO DA PLANÍCIE COSTEIRA DO RIO PARAÍBA DO SUL (RJ) DURANTE O QUATERNARIO: INFLUÊNCIA DAS FLUTUAÇÕES DO NÍVEL DO MAR,** Rio de Janeiro, 1984. 14.

MARTINS, A. M. (2015). **Modelo conceitual de funcionamento dos aquíferos sedimentares da porção emersa da Bacia de Campos.** Tese (Doutorado em Geologia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Instituto de Geociências. Programa de Pós-graduação em Geologia. 199p. 2015.

MMX. **Porto do Açu - RJ, RIMA - Relatório impacto ao meio ambiente.** MPC - Mineração, Pesquisa e Comércio Ltda. Rio de Janeiro, p. 722. 2006.

MPX/CRA, 2007. **Estudo de Impacto Ambiental - EIA - UTE Porto do Açu Energia S.A.**

MPX/CRA, 2010. **Estudo de Impacto Ambiental da Usina Termelétrica Porto do Açu II.** Rio de Janeiro, CRA - Conestoga Rovers e Associados, 8 volumes.

OLIVEIRA, VICENTE. Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego, Campos dos Goytacazes/RJ. **Caracterização Legal, Física e Biótica do Parque Estadual da Lagoa do Açu,** Outubro 2017. 17.

PRESS, F.; SIEVER, R.; GROTZINGER, J.; JORDAN, T. H. **Para entender a Terra.** 4 ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

SAMPER, J, GARCÍA VERA, M.A., PISANI, B., ALVARES, D., ESPINHA MARQUES, J., VARELA A., Y LOSADA, J.A. (2007). **Using Hydrological models and Geographic Information Systems for water resources evaluation: GIS-VISUAL-BALAN and its application to Atlantic basins in Spain (Valiñas) and Portugal (Serra da Estrela).** En: Water in Celtic Countries: Quantity, Quality and Climate Variability (Proc. of the IV InterCeltic Colloquium on Hydrology and Management of Water Resources, Guimaraes, Portugal, IAHS Publ. 310 (Red Book).

SANTOS, H. G. D. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** 3. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, v. Único, 2013.

SILVA JR, G. C.; ALVES, M. G.; MELLO, C. L. **Projeto Avaliação Hidrogeológica da Formação Emborê na porção emersa da Bacia de Campos visando o descarte de água de produção de petróleo.** Rio de Janeiro: UFRJ, 2014.

SRIVASTAVA,N.K. 1999. Lagoa **Salgada, RJ - Estromatólitos recentes.** In: Schobbenhaus,C.; Campos,D.A. ; Queiroz,E.T.; Winge,M.; Berbert-Born,M.L.C.

(Edits.) Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil. 1. ed. Brasília: DNPM/CPRM - Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos (SIGEP), 2002. v. 01: 203-209.

SUZUKI, M.S., NOVELLI, R., DE ANDRADE, D, R., SOFFIATI , A. A. N. **Relatório Áreas Alagáveis Do Norte Fluminense - Lagoas do segmento sul da Restinga Norte: entre a margem direita do Paraíba e o Cabo de São Tomé, 2005**. TUCCI, C. E. M. (Org). Hidrologia: ciência e aplicação. Porto Alegre: Editora da Universidade: ABRH, 1997. 2ª ed.TUCCI, C.E.M. Interceptação. In: TUCCI, C.E.M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 3ªedição, Porto Alegre: Ed. da UFRGS, 2004. p. 243-252.

TUCCI, C.E.M. Interceptação. Hidrologia: ciência e aplicação. 3ªedição, Porto Alegre, 2004.

UFRRJ. Câmpus Campos dos Goytacazes. **Evapotranspiração ETo (mm)**. Disponível em: <<http://campuscg.ufrj.br/evapotranspiracao-eto/>>. Acesso em: 25 Novembro 2018.

VALDIVIA, P. G. **Monitoramento hidrogeológico da bacia-piloto do ribeirão da Onça em zona de afloramento do sistema aquífero Guarani determinação da evapotranspiração**. 2005. 43 p. Trabalho de conclusão de curso, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP.

WINTER, W. R.; JAHNERT, R. J.; FRANÇA, A. B. Bacia de Campos. Rio de Janeiro: **Boletim de Geociências da Petrobras**. v. 15, n. 2 p. 501-509, maio/nov 2007.