

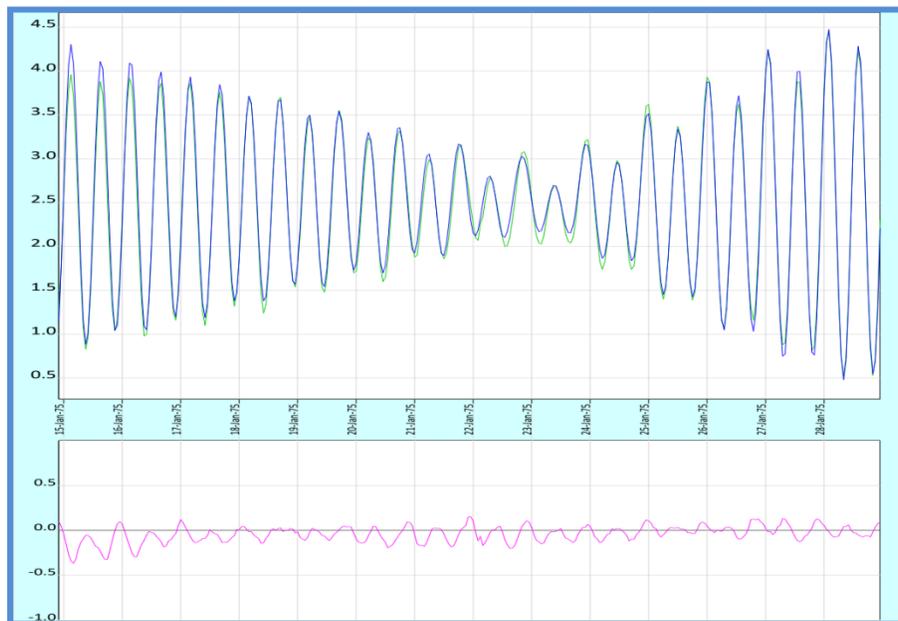


Escola Superior de Ciências Marinhas e Costeiras

Licenciatura em Oceanografia

Monografia

Análise de maré para o Porto de Nacala



Autor: Humberto Fernando Meque

Quelimane, Setembro 2019



Escola Superior de Ciências Marinhas e Costeiras

Monografia submetida para obtenção do grau de Licenciatura em Oceanografia

Análise de maré para o Porto de Nacala

Supervisor:

Prof. Doutor Fialho P.J. Nehama

Autor:

Humberto Fernando Meque

Quelimane, Setembro 2019

Dedicatória

Dedico especialmente aos meus pais Fernando Daniel Meque e Taja Augusto Tapera, que no seu dia-a-dia dedicam suas vidas para o meu bem-estar!

Agradecimentos

Em primeiro lugar agradeço a Deus pela sabedoria e pelas forças, por me guiar e proteger para que eu pudesse alcançar o meu objectivo, aos meus pais Fernando Daniel Meque e Taja Augusto Tapera por acreditar em me sempre e pelo apoio incondicional.

Agradecimentos especiais ao meu supervisor Prof. Doutor Fialho P.J. Nehama pela orientação de todo trabalho realizado por mim. Agradecer aos membros do projecto C-RISe, nomeadamente ao Dr. David Cotton, a Dra. Amani Becker, a Dra Angela Hibbert que mesmo estando distantes eles sempre mostraram disponibilidade para esclarecimento de qualquer dúvida.

Ao meu irmão colega parceiro Quembo Samuel Quembo pelos conselhos, apoios sempre quando estava a necessitar, ao Assane Juliasse, Damildo Buci, Jorge Catandica, Andrisse Augusto e Belgínia Nicoadala pela motivação, pela ajuda científica, ao Adriano Samuel, e Francisco Júnior pelos conselhos, e aos colegas do curso de Oceanografia (2015), o meu muito obrigado pela energia e cumplicidade durante essa longa jornada.

Agradeço a minha família pelo amparo, compreensão e que sempre estiveram ao meu lado durante esta trajectória, em especial aos meus irmãos Daniel, Maria, Adélia, Martinho, James e Augusto.

Declaração de honra

Declaro por minha honra que este trabalho de licenciatura intitulado **Análise de maré para o porto de Nacala** é da minha autoria, nunca foi apresentado na sua essência ou parte do mesmo para a obtenção de qualquer grau académico.

Autor

(Humberto Fernando Meque)

Quelimane, Setembro de 2019

Resumo

A modelação da maré tem sido alvo de vários estudos no sentido de obter modelos mais exactos e precisos. O método mais comum e actual de modelar a maré é a análise harmónica. Na análise harmónica, a maré é representada pelo somatório de sinusóides – constituintes harmónicas. As constituintes estão relacionadas com o efeito que as órbitas dos astros (Sol e Lua) produzem na superfície oceânica. Neste trabalho foram analisadas as marés que ocorrem na região do Porto de Nacala com o objectivo de dar uma contribuição ao estudo da análise e previsão de marés naquele local. Uma análise dos efeitos das marés, a identificação das constituintes harmónicas e as previsões as marés da região do Porto de Nacala foram apresentados neste trabalho, para tal usou-se o método de análise harmónica para a identificação das constituintes e para a realização das devidas análises, para as previsões de marés do ano 2020 do Porto de Nacala, a partir das alturas de marés registados no ano de 1975 e 1982 à 1983. Foram identificadas 26 constituintes para 1975 e 1982-83 e 54 para ano de 2004, dos quais 4 são os mais significativos sendo os maiores contribuintes as espécies semi-diurnas, seguidas das diurnas. Pois estes resultados mostram que as marés são semidiurnas, observando-se duas preia e baixa-mar na marés vivas e duas preia e baixa-mar na marés mortas em 24horas solares, e o valor máximo das marés observadas foi de 4.67 metros para Nacala A, 4.49 metros para Nacala B e 4.83 metros para Nacala C e foi registado durante a maré viva, enquanto o valor mínimo foi de 0.26, 0.56 e 0.2 metros e foi registado na maré morta.

Palavras-chaves: Baía de Nacala, Análise Harmónica, Componentes Harmónicas de Maré, Previsão de Maré, software TASK.

Abstract

Tidal modeling has been the subject of several studies to obtain more accurate models. Accurate and accurate. The most common and current method of modeling the tide is harmonic analysis. In harmonic analysis, the tide is represented by the sum of sinusoids - harmonic constituents. The constituents are related to the effect that the orbits of the stars (Sun and Moon) have on the ocean surface. In this work the tides occurring in the Port of Nacala region were analyzed in order to contribute to the study of tidal analysis and prediction at that location. An analysis of the tidal effects, the identification of the harmonic constituents and the tidal predictions of the Nacala Port region were presented in this work. The harmonic analysis method was used for the identification of the constituents and for the proper analysis. , for the tide forecasts for the year 2020 of Nacala Port from the tidal heights recorded from 1975 and 1982 to 1983. 26 constituents were identified for 1975 and 1982-83 and 54 for 2004, of which 4 the most significant are semi-diurnal species, followed by diurnal species. For these results show that the tides are semidiurnal, observing two high and low tide at high tides and two high and low tide at low tides at 24 solar hours, and the maximum observed tidal value was 4.67 meters for Nacala A, 4.49 meters for Nacala B and 4.83 meters for Nacala C and was recorded during high tide, while the minimum value was 0.26, 0.56 and 0.2 meters and was recorded for dead tide.

Keywords: Nacala Bay, Harmonic Analysis, Tidal Harmonic Components, Tide Prediction, TASK software.

Lista de Figuras

Figura 1: Força geradora da maré. (Fonte: Dias, 2009).....	14
Figura 2: Fases da Lua, marés vivas e mortas.....	17
Figura 3: Localização da Baía de Nacala e o ponto de amostragem das duas estações, (Google earth 2018).....	21

Lista de Tabelas

Tabela 1: As componentes de maré mais importantes para a região, onde também estão relacionados o período e a fase obtidos a partir do modelo TMD (Simbine 2016).....	19
Tabela 2: Fases e amplitudes das principais componentes diurnas e semi-diurnas calculadas com 95% de intervalo de confiança.....	25
Tabela 3: Fases e amplitudes das principais componentes diurnas e semi-diurnas calculadas com 95% de intervalo de confiança.....	25
Tabela 4: Fases e amplitudes das principais componentes diurnas e semi-diurnas calculadas com 95% de intervalo de confiança.....	26

Lista de Gráficos

Gráfico 1: Curvas das marés observadas e previstas pelo TASK na estação 1 ou de Nacala A no intervalo de Janeiro à Março de 1975. Os resultados da análise de marés usando o programa TASK estão sumariados no gráfico1 e 2.....	26
Gráfico 1.1: Curvas das marés observadas e previstas pelo TASK – Windows Edition na estação 1 ou de Nacala Ano intervalo de Janeiro à Março de 1975 nos primeiros 14 dias.....	27
Gráfico 2: Comportamento das marés observadas e previstas pelo TASK – Windows Edition na estação 2 ou de Nacala B no intervalo de Outubro de 1982 à Janeiro de 1983.....	28
Gráfico 2.1: Curva das marés observadas e previstas pelo TASK – Windows Edition na estação 2 ou de Nacala B no intervalo de Outubro de 1982 à Janeiro de 1983 nos primeiros 14 dias.....	29
Gráfico 3: Curvas das marés observadas e previstas pelo TASK na estação 3 ou de Nacala C no ano de 2004.....	30
Gráfico 3.1: Curva das marés observadas e previstas pelo TASK – Windows Edition na estação 3 ou de Nacala C no de 2004 nos primeiros 14 dias.....	31
Gráfico 4: Curvas da predição de marés usando software TASK- POLTIPS-3 na estação 1 ou de Nacala-A para o ano de 2020.....	32
Gráfico 5: Curvas da predição de marés usando software TASK- POLTIPS-3 na estação 2 ou em Nacala-B para o ano de 2020.....	32

Lista de Abreviaturas

BM = Baixa-mar

F_{GM} = Força geradora da Maré

h = Período

km = Kilómetro

m = Metro

NMM = Nível Médio do Mar

PM = Preia-mar

Índice

I. INTRODUÇÃO, JUSTIFICATIVA E OBJECTIVO	1
1.1 Introdução	1
1.2 Objectivos	3
Específicos	3
1.3 Justificativa.....	3
II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1 Nível médio do mar	4
2.2 Marés.....	4
2.3 Tipos de marés.....	8
2.4 Análise harmónica	10
III. METODOLOGIA.....	13
3.1 Área de estudo	13
3.2.Materiais.....	14
3.3Método	14
3.3.1 Análise das constituintes de maré.....	14
3.3.2 Analise das Marés usando o TASK	15
3.3.3 Predição de Marés usando software TASK- POLTIPS-3.....	16
IV. RESULTADOS	17
4.1 Componentes de Maré usando software TASK	17
4.2 Estabelecimento do melhor método para conduzir uma análise harmónica no local	18
4.3 Previsão das Marés usando software TASK- POLTIPS-3.....	23
V. DISCUSSÃO.....	25
5.1 Constituintes de Maré.....	25
5.2 Marés observadas e previstas, analisadas pelo TASK.....	26

5.3 Predição de marés usando o software TASK – POLTIPS-3.....	26
VI. CONCLUSÕES.....	28
VII. Referências Bibliográficas.....	29
VIII. ANEXOS I.....	30
ANEXOS II.....	34

I. INTRODUÇÃO, JUSTIFICATIVA E OBJECTIVO

1.1 Introdução

As marés são importantes forçantes da circulação costeira e o seu conhecimento é de extrema importância no entendimento do funcionamento de ecossistemas marinhos, gerenciamento costeiro, bem como para operações portuárias.

Nas zonas costeiras a acção da agitação marítima aparece sempre associada e em sobreposição aos diferentes níveis de marés. No caso da costa moçambicana, as marés possuem amplitudes que podem atingir os 5.0 m, sendo a maré predominantemente do tipo semi-diurna, ou seja, ao longo do dia existem duas baixa-mares e duas preia-mares.

Os fenómenos oceanográficos que normalmente causam marcantes variações meteorológicas, tanto na escala regional quanto na global, são, via de regra, bastante investigados, porque, o resultado de tais fenómenos exerce influência no quotidiano das pessoas e principalmente nas actividades produtivas (Sato, 2016).

Segundo Bryden, Longworth, & Cunningham, (2005) Há quase um consenso na comunidade científica mundial de que o NMM esta se elevando gradualmente em diversas regiões do planeta, ainda que, este aumento seja em pequena magnitude seus impactos já se tem mostrado visíveis nas regiões costeiras onde estão localizados grandes centros urbanos.

Segundo Mesquita, (2003), as observações do nível do mar em períodos longos, da ordem de décadas, juntamente com cuidadosas edições, filtragens e análises das correspondentes séries temporais, indicam variações de amplitude e fase em portos da costa brasileira e que o nível médio relativo do mar pode estar variando ao longo de toda a costa à razão de 40 cm/ século. Estes resultados podem trazer importantes informações geofísicas e indicações de variações globais significativas na actualidade.

A maré é um processo de grande complexidade, já que engloba o estudo de forças astronómicas, hidrodinâmicas, e atrito com o fundo. Outra componente importante é a maré meteorológica, fenómeno que ocorre com bastante frequência e é de particular importância, devido à sua influência sobre a navegação e processos de erosão costeira. Em águas rasas, principalmente em regiões de estuário, uma grande parte dos fenómenos naturais sofre influência directa ou indirecta dos ciclos de

maré. A maré se apresenta geralmente na plataforma continental como uma combinação de co-oscilação e propagação de onda, e a influência desses efeitos sobre os processos estuarinos é de grande complexidade (Taveira-pinto & Veloso-gomes, 2015).

A maré meteorológica deve-se principalmente às variações de pressão atmosférica e aos efeitos locais do vento, causando assim níveis mais baixos, ou mais altos, do que os previstos, o que se reflecte nas diferenças entre a maré observada e aquela prevista pelas Tabelas de Marés (Taveira-pinto & Veloso-gomes, 2015).

No caso particular da costa de Nacala, em que é importante um correcto dimensionamento de estruturas (portos, quebramares, esporões, etc.) expostas à agitação e um correcto planeamento de zonas costeiras, sujeitas, por exemplo, ao fenómeno da erosão, é fundamental quantificar o valor da maré meteorológica ou astronómica. Estas podem chegar a ser de algumas dezenas de centímetros, tendo-se mesmo registado valores de sobrelevação dos níveis de água do mar superiores a 1m em situações extremas (Simbine, 2016).

A maré contribui oscilando o nível das águas de acordo com a localização referente ao Sol e a Lua e com as condições de ressonância para cada bacia oceânica em suas respectivas latitudes (Kalil, 1999).

As áreas ameaçadas hoje abrigam cerca de 2% da superfície terrestre e aproximadamente 10% da população mundial (Oliveira, 1997; Sato, 2016; Sillva, 2011).

Nesse contexto para maior parte da população mundial, sabe-se da problemática que esse fenómeno pode trazer, mas prefere-se continuar a acreditar que, o mesmo, ainda não aconteceu para tentar se distanciar de mais um problema que envolverá mais custos na tentativa da sua reparação. Fazendo com que, este problema tome mais parte de terra em benefício da sua arrogância.

Foi nessa ordem de pensar que surge a necessidade de se desenvolver esse trabalho intitulado análises de mares e suas influências na subida do nível do mar, localmente, no Porto de Nacala na província de Nampula em Moçambique. A região da plataforma continental ao longo da Baía de Nacala, tem uma grande importância sócio-económico, nas actividades recreativas e turísticas que incluem a navegação marítima. Entretanto, esta região tem sido pouco estudada quanto ao funcionamento do seu ecossistema, sendo escassas as informações referentes às suas características

físicas, e os processos oceanográficos que nela ocorrem. Sendo assim, o presente trabalho irá contribuir para a geração dessas informações e para a compreensão e análise do comportamento dos ecossistemas que lá existem.

1.2 Objectivos

O objectivo geral do presente trabalho é analisar as marés no Porto de Nacala – Nampula.

Específicos

Extraír

- a) Identificar os principais constituintes harmónicos;
- b) Estabelecer o melhor método para conduzir uma análise harmónica no local escolhido (próximo do porto de Nacala) usando software TASK;
- c) Prever as marés no Porto de Nacala para o ano de 2020 usando software TASK.

1.3 Justificativa

As marés são o sinal predominante em um registo do nível do mar e são fáceis de distinguir de outros componentes da variação do nível do mar, pois têm períodos bem definidos, o nível de maré é afectado por vários factores, tais como: a posição relativa dos três corpos no sistema Terra-Lua-Sol; a variação na distância da Lua e do Sol da Terra; a variação na posição (declinação) da Lua e do Sol; as massas de terra locais e a forma da costa; e a profundidade da água no local e áreas adjacentes. O estudo das características físicas, particularmente as marés e a circulação das correntes de marés, é de extrema importância, pois estas características podem influenciar na subida do nível médio do mar, a interpretação da distribuição e abundância dos recursos marinhos. Para o navegante o conhecimento da maré e das correntes de maré é importante porque lhe permitirá decidir sobre a possibilidade de passar em locais de pouco fundo; datas, horários e velocidades convenientes para navegar nestes locais; rumos na superfície para obter os rumos no fundo desejados; e escolha do bordo de atracação, tipo de amarração e folgas adequadas das espias.

II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Nível médio do mar

Segundo Nehama (2004) o nível do mar compreende a altitude media da superfície do mar medida em relação a um ponto da superfície terrestre de, o nível médio do mar (NMM) ou o nível a partir do qual se efectua-se as batimetrias oceânicas. O nível médio do mar é por sua vez utilizado como ponto de referência, onde são medidas as altitudes dos mapas topográficos e marcar as curvas de nível as altitudes. Mesmo quando não haver ondas no oceano, o nível médio do mar não se mantém constante ao longo do tempo. Os factores que influenciam para que o nível médio do mar não seja constantes são destacados as ondas, as marés, a precipitação e as descargas fluviais.

No caso da maré oceânica, gerada por forças astronómicas isto é, é causada pela combinação dos efeitos das forças gravitacionais da Lua e do Sol, sobre a Terra, e das forças centrífugas, entre a Terra e a Lua e entre a Terra e o Sol sua magnitude será dependente de muitos factores, tais como a topografia da plataforma continental, a data em relação aos ciclos astronómicos, a profundidade e as características costeiras que são definidas consoante aos graus de sedimentos, o que pode gerar marés com comportamentos diferentes em diferentes locais (Parker, 2007).

Segundo Coelho (2016) citado por (Pickering 2012), o conhecimento das alterações nas alturas do nível médio do mar e sua utilização nos modelos é de extrema importância para os engenheiros, sabe se que as marés afectam os processos da dinâmica dos mares e no transporte dos sedimentos que existe em oceanos e influencia também para ter melhor opção de escolha de terrenos para construção de infra-estruturas de protecção costeira e portuárias.

2.2 Marés

As marés são movimentos periódicos das águas do mar devido a mudanças nas forças atractivas do Sol e da Lua sobre a Terra em rotação. Os movimentos relativos Sol-Terra-Lua fazem com que as marés sejam movimentos harmónicos compostos que podem, conseqüentemente, ser decompostos em vários movimentos harmónicos simples, expressos por equações matemáticas.

Segundo (Nehama, 2004), a teoria de equilíbrio de marés foi melhorada por teoria da dinâmica de marés, que essa por sua vez considera as forças que atraem, a inércia e outros componentes ou factores podem mudar a circulação de um fluido na Terra. Esta teoria resulta em sistemas anfidrómicos nos quais uma onda de maré propaga-se no mar aberto descrevendo um círculo. A

crista desta onda é designada preia-mar e faz um movimento circular em volta do ponto anfidrómico uma vez em cada maré viva e morta. Nesta teoria podem-se prever as marés usando métodos numéricos que incluem a análise de séries temporais observadas.

A Atracção Gravitacional

Segundo MACHADO, (1979) citado por (Nehama, 2004) a força da gravidade exercida por Terra, Lua e Sol mas só a atracção exercida pelo Sol e pela Lua tem efeitos no processo de geração de marés, isto acontece por que a Lua é o corpo celestial mais próximo da Terra, e o Sol por ter maior massa entre todos os astros.

Segundo Apel, (1999) a resultante entre a força centrífuga e a força gravitacional da Lua é conhecida como força geradora da maré, dependendo da posição da Terra em relação à Lua, esta força é dirigida para dentro, paralela ou para fora da superfície da terra.

A força gravitacional entre os dois corpos é dada por:

$$F_g = G \frac{M_T M_L}{R^2} \quad \text{Equação (1)}$$

Onde M_T é a massa da Terra e M_L é a massa da Lua, R é a distância entre a Terra e Lua, e G é a constante de gravitação universal.

Segundo Langa, (2008) força de atracção gravitacional é maior em g do que no centro da Terra pois o ponto g esta próximo da Lua pela distancia do raio da Terra a (Figura 1). A força gravitacional exercida pela Lua no centro da Terra é exactamente igual e oposta à força centrífuga, assim a força geradora de maré no centro da Terra é zero. Como a força centrífuga é igual em todos os pontos da Terra e no centro da Terra é igual a força de atracção gravitacional exercida pela Lua, podendo se substituir o lado direito da equação 1, isto é: $(GM_L M_T / R^2)$ pela força centrífuga.

A força geradora da maré no ponto g é dada pela diferença da força de atracção gravitacional devido à Lua pela força centrífuga em g . Isto é:

$$F_{GM} = \frac{GM_L M_T}{(R-a)^2} - \frac{GM_L M_T}{R^2} \quad (2)$$

Que simplifica-se para:

$$F_{GM} = \frac{GM_L M_T a(2R-a)}{R^2(R-a)^2} \quad (3)$$

Ao se assumir que a é muito pequeno comparada com R , são validas as aproximações:

$(2R - a) \approx 2R$ e $(R - a)^2$ por consequência:

$$F_{GM} = \frac{GM_L M_T}{R^3} \quad (4)$$

Isto mostra que a força geradora da maré é proporcional a $1/R^3$.

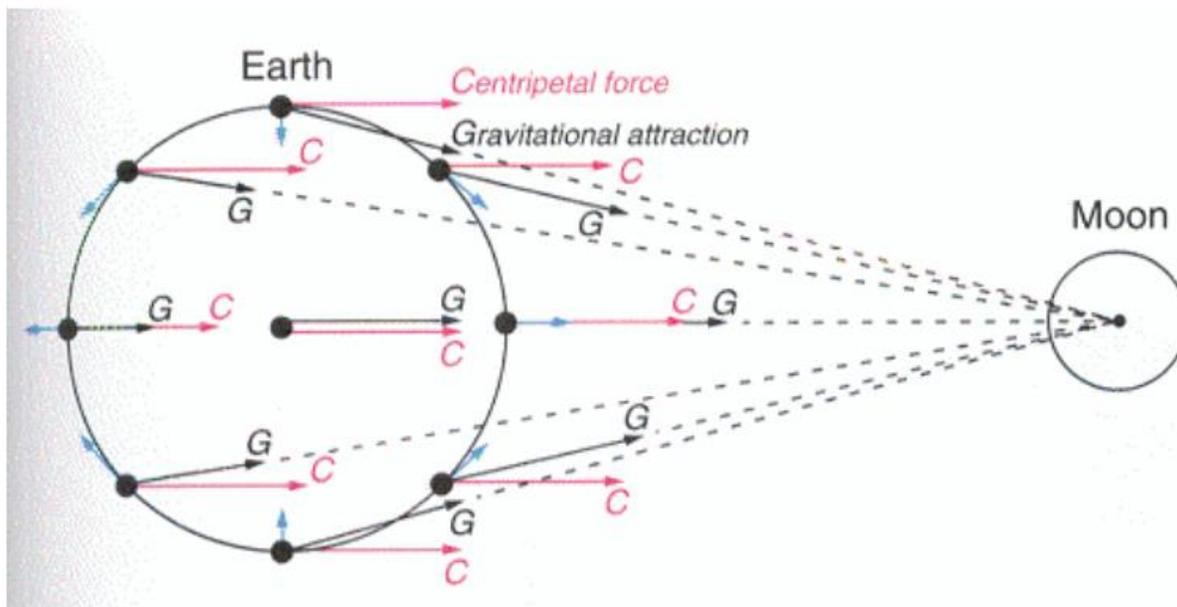


Figura 1: Força geradora da maré. (Fonte: Dias, 2009)

Segundo (Nehama, 2004), as marés podem ser classificadas como movimentos periódicos das águas do mar devido a mudanças nas forças que atraem o Sol e a Lua sobre a Terra em movimento, tendo assim duas teorias que explica, a de equilíbrio e a da dinâmica de mares.

Elemento de marés

Preia-mar (PM): é o nível máximo atingido pelas águas no fim da enchente. Os termos preia-mar inferior e preia-mar superior aplicam-se de igual forma tal como na baixa-mar.

Baixa-mar (BM): o nível mínimo das águas no fim da vazante quando a corrente se conserva parada. Em marés semi-diurnas, quando há duas baixa-mares no mesmo dia, a de menor altura dá-se o nome de baixa-mar inferior em oposição à de maior altura, a baixa-mar superior.

Altura da maré: distância vertical entre uma PM e uma BM consecutivas ou é a altura do nível da água, num dado momento, em relação ao plano do Zero Hidrográfico.

Nível médio (NM): a altura média da superfície do mar para todas as fases de maré, usada como uma superfície de referência da qual as altitudes são medidas;

Enchente: é o período entre uma baixa-mar e uma preia-mar sucessivas, quando aumenta a altura da maré.

Vazante: intervalo de tempo durante o qual o nível do mar baixa;

Estofo da maré: Intervalo de tempo o quando não há corrente de maré, também conhecido como o repouso da maré. Corresponde à mudança do sentido da maré, quando não se verifica qualquer alteração na altura do nível de maré.

Ciclo da maré: período de tempo entre uma preia-mar e a preia-mar seguinte, ou entre uma baixa-mar e a baixa-mar seguinte.

Cota da maré: distância vertical entre o nível do mar em um determinado instante e o nível de redução (plano de referência que constitui a origem de contagem das profundidades e das alturas da maré).

Amplitude da maré: é diferença entre as alturas da preia-mar e baixa-mar. A amplitude máxima dá-se por ocasião das marés vivas equinociais; a amplitude média dá-se no período entre as marés vivas e marés mortas; e, a amplitude mínima dá-se por ocasião das marés mortas equinociais.

2.3 Tipos de marés

Marés semidiurnas

Segundo (Nehama, 2004), de um modo geral um dia lunar tem aproximadamente 24h 50min, em oposição ao dia solar de 24 horas, as marés não ocorrem todos os dias à mesma hora num mesmo local. O padrão normal de marés é a ocorrência de duas enchentes e duas vazantes num período de um dia lunar sendo assim chamado marés semidiurnas.

O intervalo de tempo entre uma enchente e uma vazante consecutiva é de pouco mais de 6 horas. Normalmente, há apenas variações relativamente pequenas nas alturas de duas preia-mares ou de duas baixa-mares sucessivas. As marés na costa moçambicana são do tipo semidiurnas apresentando uma desigualdade diurna (Consultec, 2007).

Marés diurnas

As marés diurnas constituem um padrão no qual ocorrem apenas uma preamar e uma baixa-mar a cada dia lunar. Geralmente os níveis de duas preia-mares ou baixa-mares sucessivas não variam muito.

Marés mistas

As marés mistas constituem um tipo de maré no qual as oscilações diurnas e semidiurnas são ambas factores importantes, sendo a maré caracterizada por grandes diferenças de altura entre duas preia-mares ou duas baixa-mares consecutivas.

Se as marés são diurnas as suas componentes são de esperar que sejam elevadas em relação as componentes das semidiurnas. Nesse caso podem se classificar de acordo a razão entre as amplitudes das principais componentes diurnas pelas amplitudes das principais componentes semidiurnas que é principal lunar (M2) e principal solar (S2), utilizando a equação 2:

$$F = \frac{K1+O1}{M2+S2} \text{ Equação (2)}$$

Onde F é chamado factor de forma. (Canhanga, 2004) Com base na definição do factor forma, têm sido feitas estimativas sobre a distribuição dos diversos tipos de marés à volta do mundo.

Dependendo do valor do factor de Forma, podem existir os seguintes casos:

$F \leq 0.25$ — marés semi-diurnas;

$0.25 > F \leq 1.5$ — marés semi-diurnas misturadas;

$1.5 > F \leq 3.0$ — marés diurnas misturadas;

$F > 3.0$ — marés diurnas.

Caracterização das Marés

Quando a Terra, a Lua e o Sol estão em um mesmo alinhamento, produzindo as maiores amplitudes de maré, as maiores preia-mares e menores baixa-mares; estando o Sol e a Lua em conjunção, situação de Lua Nova; ou em oposição, situação de Lua Cheia (ambas as posições denominadas de sizígia), isto significa que a amplitude de maré é maior em todos locais. O contrário acontece quando a Lua e Sol estão em quadratura, em que se geram marés mortas cuja altura é pequena. Altura de maré é tida como a diferença entre uma crista e o cavado consecutivo. Por causa do período de rotação da Lua em torno da Terra (29.5 dias), as marés vivas e/ou mortas acontecem duas vezes em cada mês (FRANCO, 1983).

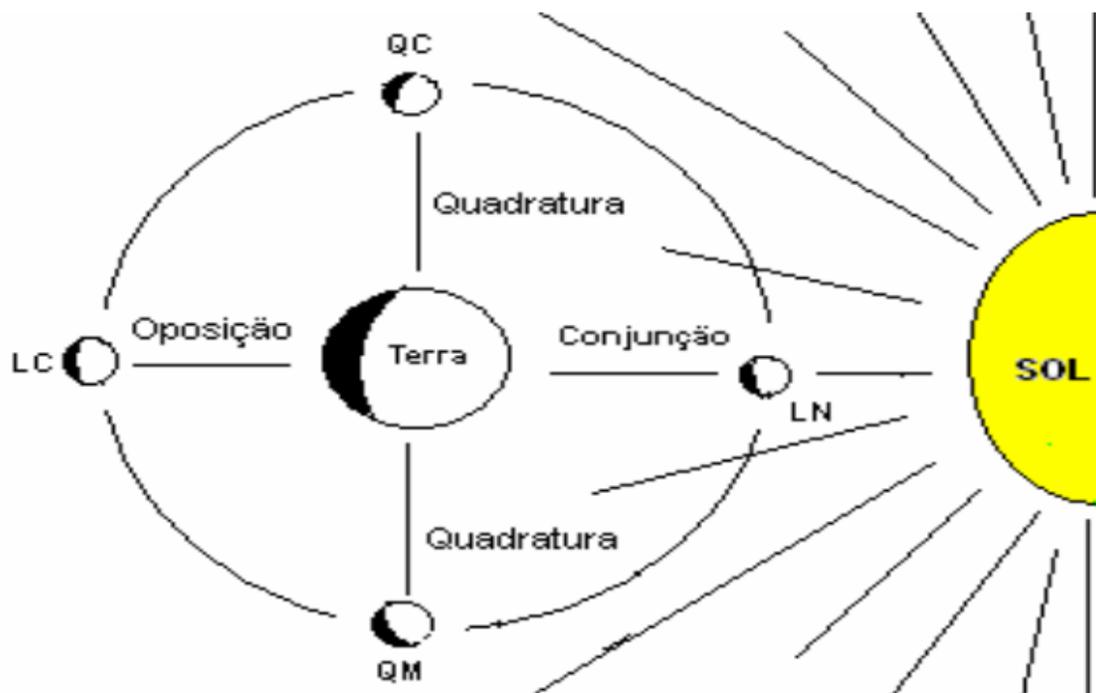


Figura 2: Fases da Lua, marés vivas e mortas.

A origem deste fenómeno está relacionada com o movimento de rotação da Terra que faz com **que todos os pontos estejam expostos a Lua pelo menos uma vez por dia.**

2.4 Análise harmónica

As componentes de maré são estudadas na Teoria Dinâmica das Marés, que trata da resposta hidrodinâmica do oceano real às forças geradoras de maré, considerando os limites dos oceanos, a progressão das ondas de maré e a força de Coriolis.

Visto que, as componentes de maré são provenientes da decomposição dos movimentos harmónicos de maré, em que cada uma representa a mudança periódica ou variação nas posições relativas da Terra, Lua e Sol, é possível caracterizá-las a partir de técnicas de análise harmónica.

Dessa forma, a variação na elevação do nível do mar causada pela maré astronómica pode ser determinada pela somatória dos harmónicos principais de maré, conforme equação:

$$\eta(t) = \sum_{k=1}^N A_k \cos(\omega_k t - \Phi_k)$$

Onde:

$\eta(t)$ é a variação do nível do mar em função do tempo;

t é o tempo em minutos;

A_k é a amplitude em metros;

ω_k é a frequência angular em radianos por segundo;

Φ_k é a fase em radianos;

k é o número de constituintes.

A análise envolve a redução de um conjunto de gravações do nível do mar de um medidor de marés (geralmente pelo menos 8760 valores horários cobrindo um ano inteiro) em um conjunto mais

gerenciável de parâmetros que define completamente o componente de maré do registro do medidor de marés.

Tabela 1: As componentes de maré mais importantes para a região, onde também estão relacionados o período e a fase obtidos a partir do modelo TMD (Simbine 2016).

Componentes	Períodos (h)	Amplitudes (m)	Fases (graus)
Harmônicos			
M2	12.4206	1.1293	29.78
S2	12.0000	0.5919	70.50
N2	12.6583	0.2007	9.63
K2	11.9672	0.1666	66.99
K1	23.9345	0.1108	359.18
O1	25.8201	0.0786	0.80
P1	24.0659	0.0336	357.31
Q1	26.8684	0.0184	347.79

Através da análise harmônica também são realizadas as previsões de maré. Para isso, um registro do local é analisado para componentes de determinadas frequências, usando a análise de *Fourier*.

Desta forma, são determinadas uma amplitude H_j e uma fase G_j para cada constituinte, H e G são chamadas constantes harmônicas de uma constituinte naquele local e são características de uma posição no mar. Então, a elevação $\eta(t)$ naquele ponto do oceano pode ser prevista para um instante de tempo t qualquer usando a equação:

$$\eta(t) = \sum_j f_j H_j \cos(\sigma_j t + \beta_j - G_j)$$

Onde:

σ_j são as velocidades angulares das constituintes de maré;

f_j e β_j são características de cada constituinte, funções do tempo t ;

H_j e G_j são as constantes harmónicas de cada constituinte, no local das medições.

Dessa forma, a Teoria do Equilíbrio fornece os valores de σ_j , f_j e β_j ; e a análise harmónica da maré de um local, baseada na análise de *Fourier* de um registo, informa como a geometria dos continentes, a topografia do fundo dos oceanos, a progressão das ondas de maré, a força de Coriolis e os modos naturais de oscilação modificam a maré de equilíbrio naquele local, dando os valores de H_j e G_j .

Harari (2007) destaca que a determinação das forças e acelerações na Teoria Dinâmica das Marés, considerando a Terra real (com continentes e topografia do fundo dos oceanos) e demais efeitos desconsiderados pela Teoria do Equilíbrio, é muito difícil, devido à extrema complexidade do sistema de equações e de suas condições de contorno. Assim, a análise harmónica da maré estuda o fenómeno evitando a formulação matemática das causas e se ocupando do efeito. Nesta análise, o procedimento é de modo que a análise de *Fourier* dos registos de altura de maré nos pontos do oceano determina como cada componente de maré é afectada, na amplitude e fase, pelos efeitos não considerados na Teoria do Equilíbrio.

III. METODOLOGIA

3.1 Área de estudo

Localizado na província de Nampula, distrito de Nacala na zona norte de Moçambique, entre latitude de $14^{\circ}32'23,24''S$ e longitude de $40^{\circ}40'04,78''E$. A baía constitui uma fronteira entre os distritos de Nacala porto e Nacala velha, ambos banhados pelo oceano Índico. A Baía de Nacala tem uma orientação norte-sul cerca de 18 km de comprimento e 4 km de largura, com uma profundidade média de 20 metros. O volume médio da Baía é de cerca de 1,5 k, Com uma área total da superfície de 70km. Cerca de 80% da Baía tem profundidades superiores a 20 m. As Águas profundas do canal que entra na baía excedem 70 m (Jica 2011).

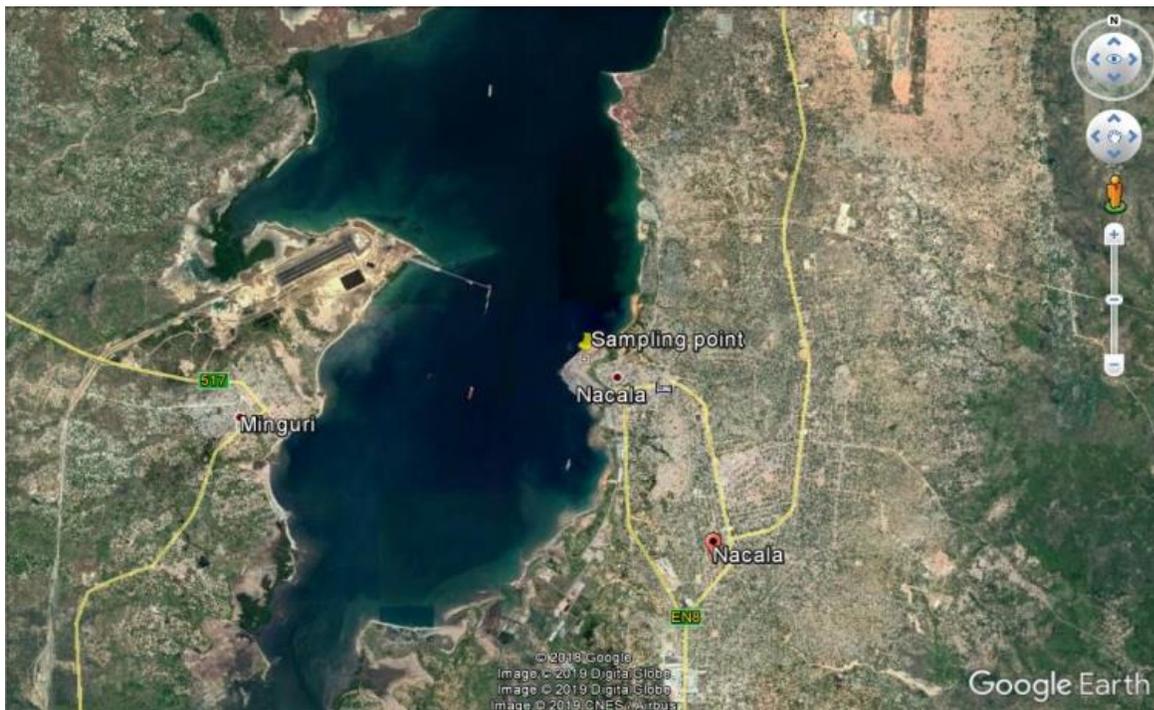


Figura 3: Localização da Baía de Nacala e o ponto de amostragem das duas estações, (Google earth 2018)

3.2. Materiais

Na maré viva a elevação atinge cerca de 4.83 metros enquanto que na maré morta (MM) o máximo de elevação é cerca de 3.2 metros. Note-se o tempo de quase 15 dias entre duas marés vivas ou mortas e o tempo de 7 dias entre uma maré viva e a maré morta consecutiva. As marés no Porto de Nacala são semi-diurnas e esta característica pode ser vista no gráfico 1, 2 e 3, em que o tempo entre duas preia-mares ou baixa mares consecutivas é de aproximadamente 12 horas.

Neste trabalho usaram-se dados de maré que foram disponibilizados pela C-rise. Estes dados foram colhidos na proximidade do porto de Nacala, em três estações, para estação 1 ou Nacala A os dados foram colhidos no mês de Janeiro à Março de 1975, para estação 2 ou Nacala B os dados foram colhidos no mês de Outubro de 1982 à Janeiro de 1983, e para estação 3 ou Nacala C os dados foram colhidos no ano de 2004.

Para Nacala A, a amostragem iniciou às 22 horas utilizando o marrégrafo de bóia, foram colectados dados referentes a maré durante quase 67 dias em intervalos de uma hora de tempo.

Para Nacala B, a amostragem iniciou às 22 horas e terminou no dia 01-Janeiro-1983 às 21 horas utilizando o marrégrafo de boia, foram colectados dados referentes a maré durante quase 91 dias em intervalos de uma hora de tempo.

Para Nacala C, a amostragem iniciou às 0 horas do dia 1 de Janeiro e terminou no dia 31 de Dezembro às 23 horas, os dados da subida e descida de maré foram colectados durante 365 dias com intervalo de uma hora tempo.

3.3 Método

A análise de marés foi realizada com base de numa etapa usado o TASK, e a predição de marés foi realizada com base de uma etapa usando o TASK - POLTIPS-3.

3.3.1 Análise das constituintes de maré

Os resultados do modelo foram processados no *software TASK*, que inclui um grande número de constituintes harmónicos que vem configurada para realizar análises de alguns conjuntos padrão de harmónicos, dependendo de cada serie temporal de medição, (1 constituinte harmónica apenas M2; 4 constituintes harmónicos O1, K1, M2, S2 - mais de 15 dias; 7 constituintes harmónicos O1, K1, M2, S2, N2, M4, MS4 para mais de 30 dias; 15 constituintes harmónicas (não inclui N2) para mais

de 15 dias; 26 constituintes harmónicas para mais de 30 dias de dados; 54 constituintes harmónicas para 6 meses de dados; 62 constituintes harmónicas para 1 ano de dados; 102 constituintes harmónicas para 1 ano de dados de alta qualidade; e 114 constituintes harmónicas para 4,5 anos de dados. No presente trabalho usou-se 26 constituintes harmónicas para Nacala A e Nacala B, para Nacala C usou-se 54 constituintes harmónicas por causa do tempo de medição dos dados utilizados que foi de uma hora de separação é a causa de não se usar 62 constituintes.

Para a identificação das principais constituintes da maré astronómica e caracterização de suas amplitudes e fases, realizou-se a análise harmónica das séries temporais de elevação do nível do mar, dessa forma foi possível compor as tabelas para cada série temporal de dados.

A fim de padronizar o intervalo amostral entre os dados provenientes de medição e os resultantes do modelo, os dados medidos foram interpolados, devido a descontinuidade aparente na aquisição dos mesmos na casa dos segundos.

3.3.2 Análise das Marés usando o TASK

Para analisar as maré nesta série do programa do software TASK (Kit de software de análise de maré) é um conjunto de programas para PCs baseados no Microsoft Windows que permite processar os dados de um indicador de maré, realizar o processamento de dados necessário, calcular um conjunto de constantes harmónicas e, terminar com uma tabela de marés totalmente formatada para qualquer data ou hora no futuro, esse modelo da versão 2.1.0 foi desenvolvido por *The Marine Data Products Team at the UK National Oceanography Centre*.

O TASK faz o processamento de dados no formato (CSV, UHSLC ou formato TASK). O software TASK apresenta quatro subprogramas, TASK – Toolkit um programa para ajudar a processar e reajustar os dados, TASK – Analyse o programa principal de análise harmónica, TASK – Plot um programa para analisar e controlar a qualidade dos dados das séries temporais graficamente e, Predict é um subprograma de previsão de marés projectado para usar conjuntos personalizados de constantes harmónicas.

Numa primeira fase lançou-se os dados para TASK – Toolkit para o processamento e manipulação de dados, os dados a serem analisados devem estar no formato (separados por virgula (CSV), UHSLC ou formato TASK-2000), para este trabalho usou-se os dados no formato de UHSLC para converter os dados de UHSLC para o formato TASK-2000 (.t2k) antes da realizar as análise

harmónica, este de texto(arquivo .t2k), consistem em várias linhas de cabeçalho (que contem informações descritiva relacionada aos dados) e, em seguida, um registo de dados por linha. Utiliza-se as 20 linhas de cabeçalho para manter informações importantes, como informações precisas sobre a posição do indicador de maré, nivelamento, bem como detalhes vitais, como o datum do medidor de maré.

Depois de se converter para (.t2k), lança-se este formato para o subprograma TASK - Analyse que usou-se para executar as análises harmónicas dos dados, nesse caso, depois de se introduzir os dados, tem três canais de saída que são 6, 7 e 8, na convenção, os dados de observação vão no canal 6, os dados de previsões vão no canal 7 e os dados dos resíduos vão para o canal 8. Seleccionou-se as constituintes harmónicas, e fez-se as leituras dos maiores contituentes harmónicos e das constantes harmónicas, a cada análise harmónica realizada o TASK - Windows Edition consegue identificar diferentes conjuntos de frequências de componentes específicas. A componente mais energética, como a principal lunar e a principal solar, sempre estarão presentes. Em seguida levou-se o documento analisado e lançou-se no subprograma TASK – Plot para fazer as plotagem dos gráficos das marés.

3.3.3 Predição de Marés usando software TASK- POLTIPS-3

Nesta etapa, o método usado para predizer as marés foi o “método harmónico clássico”que tem a função de determinar os componentes de marés que serão previstas, cuja base é o programa de TASK (POLTIPS-3) que tem a função de prever as marés projectadas para usar conjuntos personalizados de constantes.

A partir dos dados de maré analisados no TASK Analyse que tem como base as constituintes harmónicas de marés, foram calculadas as amplitudes através das quais se construiu o modelo de predição de marés para o porto de Nacala.

Uma vez que o conjunto de constantes harmónicas é derivado, elas são usadas com um programa de previsão de marés, o POLTIPS-3 que usou-se para calcular a maré para a frente ou para trás no tempo por muitos anos de cada vez. Isto é, tem alta precisão com a qual os parâmetros astronómicos são conhecido que permite que as marés sejam calculadas com antecedência.

IV. RESULTADOS

4.1 Componentes de Maré usando software TASK

Os resultados das análises harmônicas, para a simulação foram identificados 26 constituintes para Nacala A e B, e 54 para Nacala C, Anexo I, as amplitudes e fases foram calculados com 95% de intervalo de confiança, sendo os mais significativos os 4, Tabela 2, 3 e 4. Para este trabalho o número de constituintes harmônicas de cada série temporal encontrado é considerado satisfatório quando se toma em consideração que o TASK inclui uma lista de 114 constituintes e destes os mais significantes foram identificados no presente trabalho.

Tabela 2: Fases e amplitudes das principais componentes diurnas e semi-diurnas calculadas com 95% de intervalo de confiança.

Estação 1, intervalo de Janeiro à Março de 1975			
#	Componentes	Amplitudes(m)	Fases (°)
1	O1	0.07324	4.79
2	K1	0.10929	14.53
3	M2	1.09972	33.01
4	S2	0.6696	83.38

Tabela 3: Fases e amplitudes das principais componentes diurnas e semi-diurnas calculadas com 95% de intervalo de confiança.

Estação 2, intervalo de Outubro de 1982 à Janeiro de 1983			
#	Componentes	Amplitudes (m)	Fases (°)
1	O1	0.08757	7.18
2	K1	0.10953	341.64
3	M2	1.0414	28.36
4	S2	0.58448	55.72

Tabela 4: Fases e amplitudes das principais componentes diurnas e semi-diurnas calculadas com 95% de intervalo de confiança.

Estação 3, ano de 2004			
#	Componentes	Amplitudes (m)	Fases (°)
1	O1	0.00691	13.76
2	K1	0.00737	35.12
3	M2	0.07993	68.47
4	S2	0.04461	68.47

4.2 Estabelecimento do melhor método para conduzir uma análise harmônica no local escolhido usando software TASK;

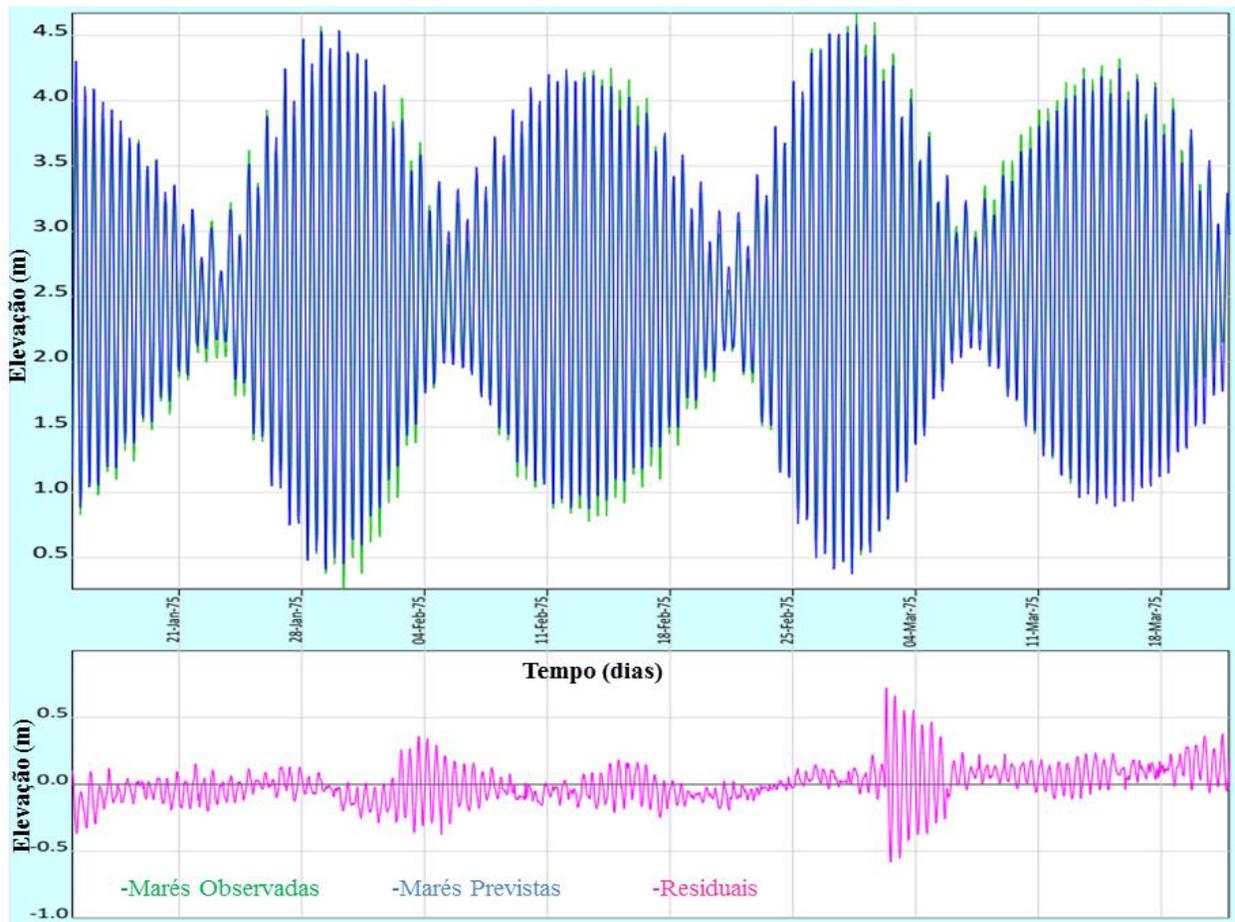


Gráfico 1: Curvas das marés observadas e previstas pelo TASK na estação 1 ou de Nacala A no intervalo de Janeiro à Março de 1975. Os resultados da análise de marés usando o programa TASK estão sumariados no gráfico1 e 2.

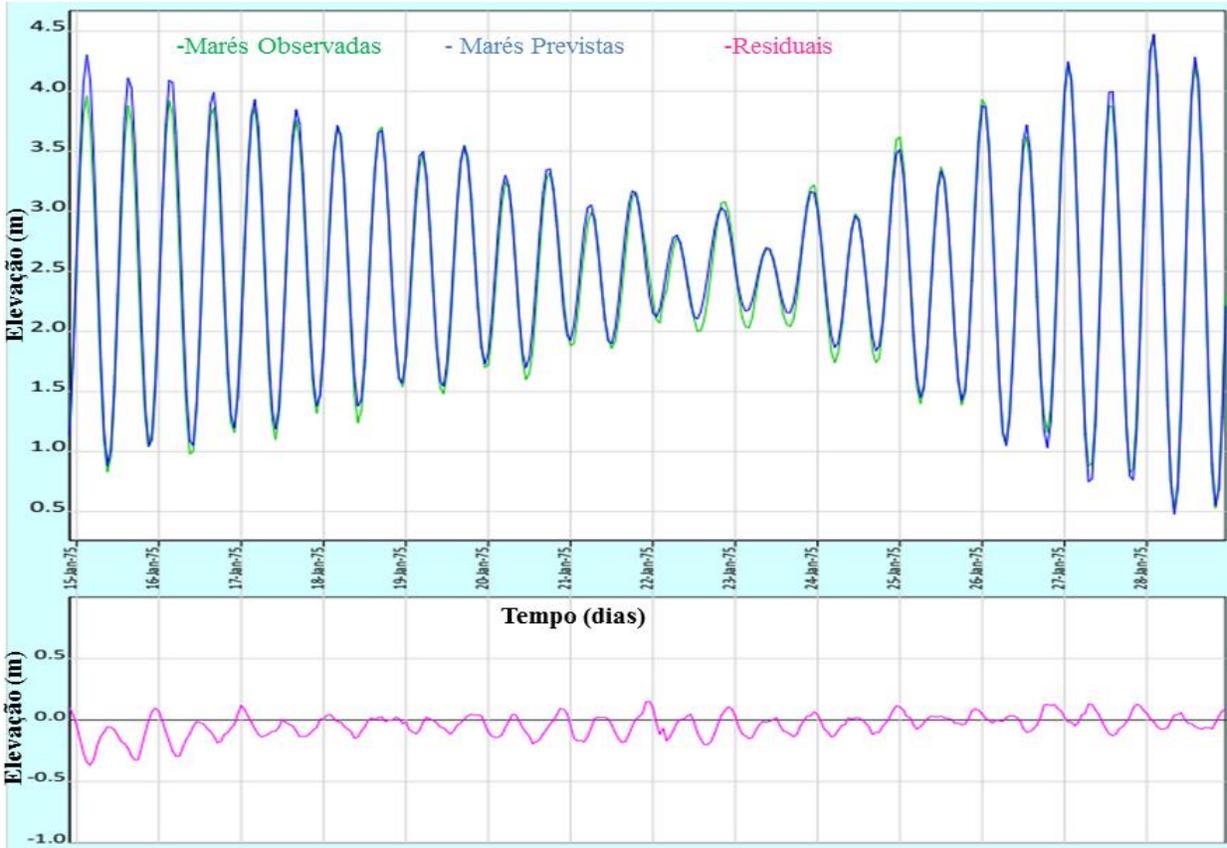


Gráfico 1.1: Curvas das marés observadas e previstas pelo TASK – Windows Edition na estação 1 ou de Nacala Ano intervalo de Janeiro à Março de 1975 nos primeiros 14 dias.

As marés vivas/mortas previstas ou modeladas ocorrem no mesmo instante que as marés observadas (gráfico 1.1, 2.1 e 3.1) e as preias/baixa-mares previstas ou modeladas também ocorrem em simultâneo com as observadas (gráfico 1.1, 2.1 e 3.1). A diferença entre as marés observadas e as marés modeladas ou analisadas, em outras palavras, são representados como resíduos que estão igualmente ilustrados no gráfico1, 2 e 3. Aos resíduos permite ver que os erros tratados são pequenos porque estes não passam 0.3 metros de elevação havendo assim uma concordância entre marés observadas e modeladas.

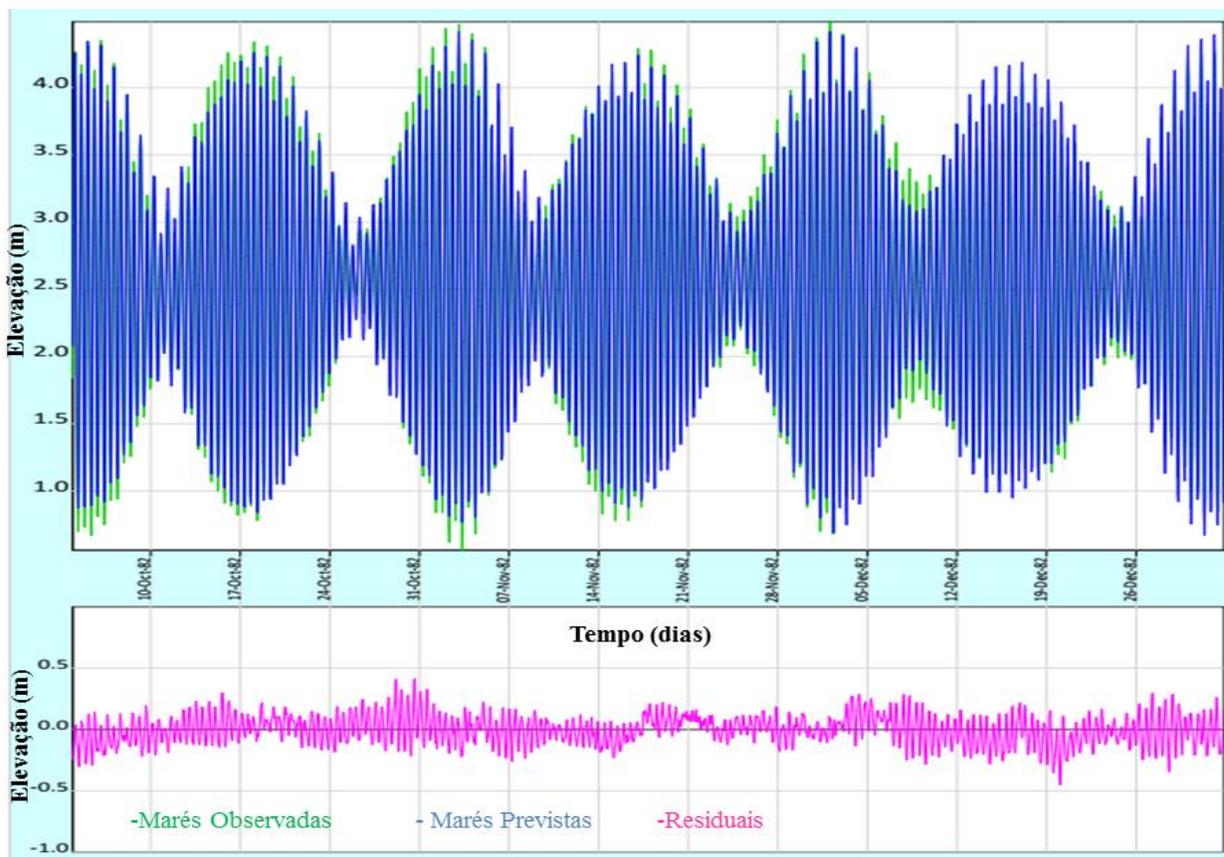


Gráfico 2: Comportamento das marés observadas e previstas pelo TASK – Windows Edition na estação 2 ou de Nacala B no intervalo de Outubro de 1982 à Janeiro de 1983.

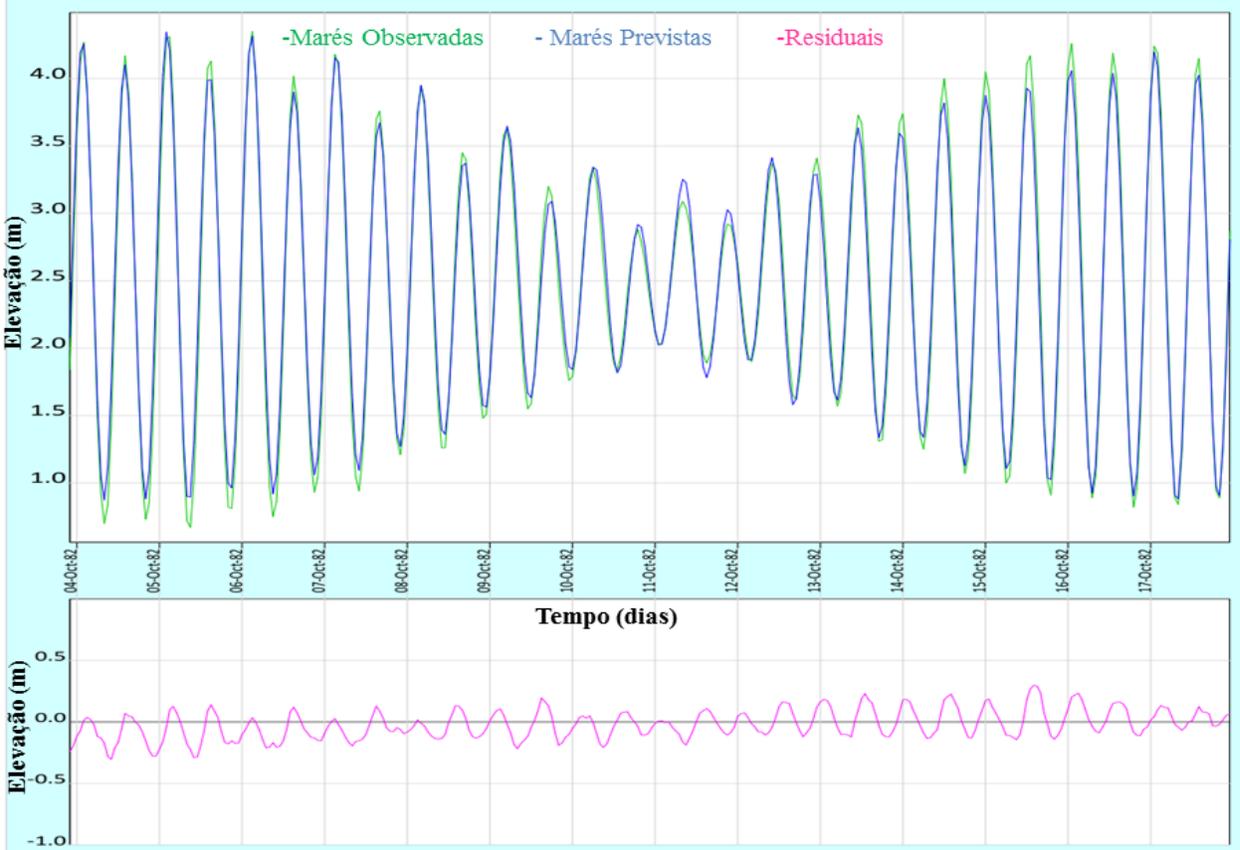


Gráfico 2.1: Curva das marés observadas e previstas pelo TASK – Windows Edition na estação 2 ou de Nacala B no intervalo de Outubro de 1982 à Janeiro de 1983 nos primeiros 14 dias.

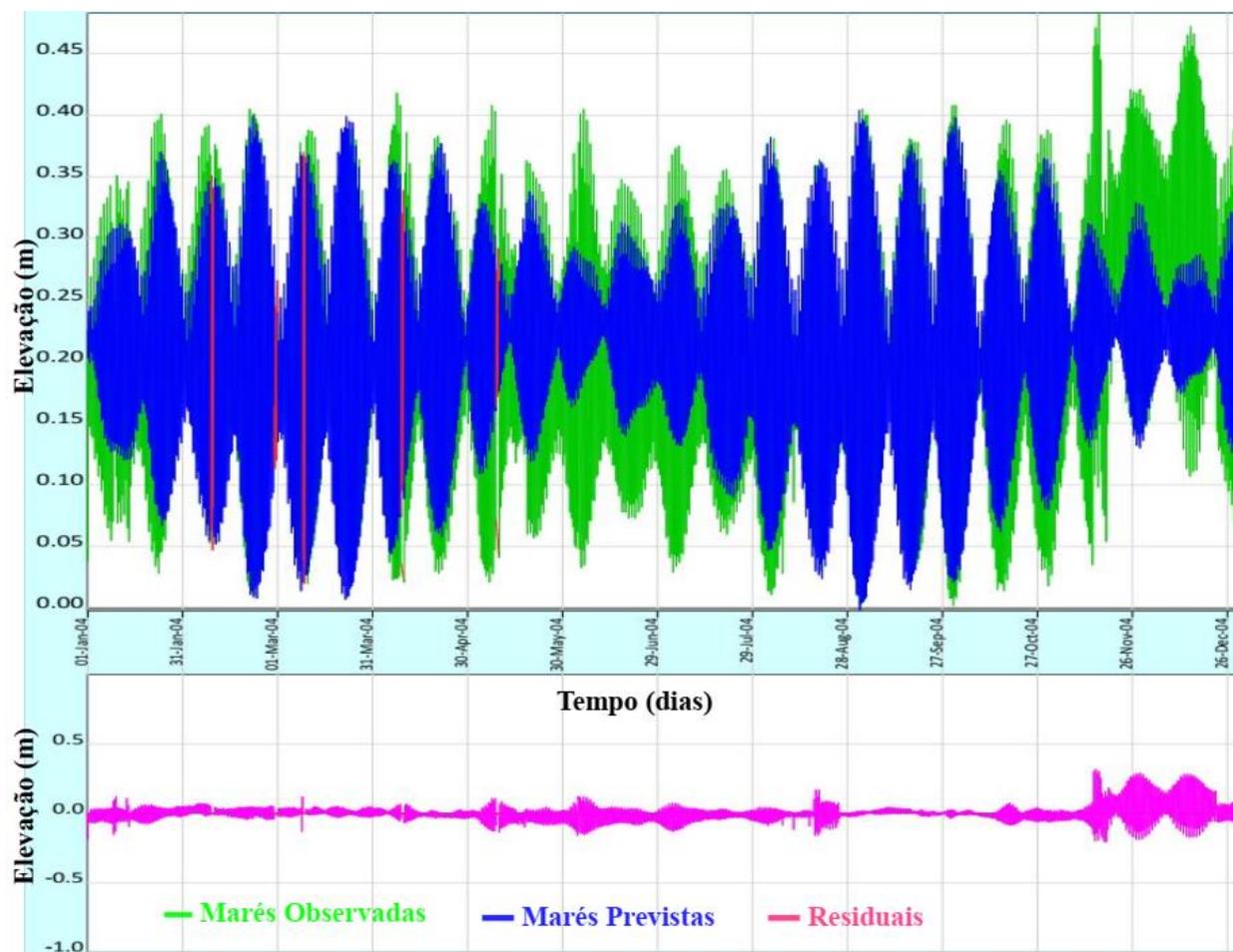


Gráfico 3: Curvas das marés observadas e previstas pelo TASK na estação 3 ou de Nacala C no ano de 2004.

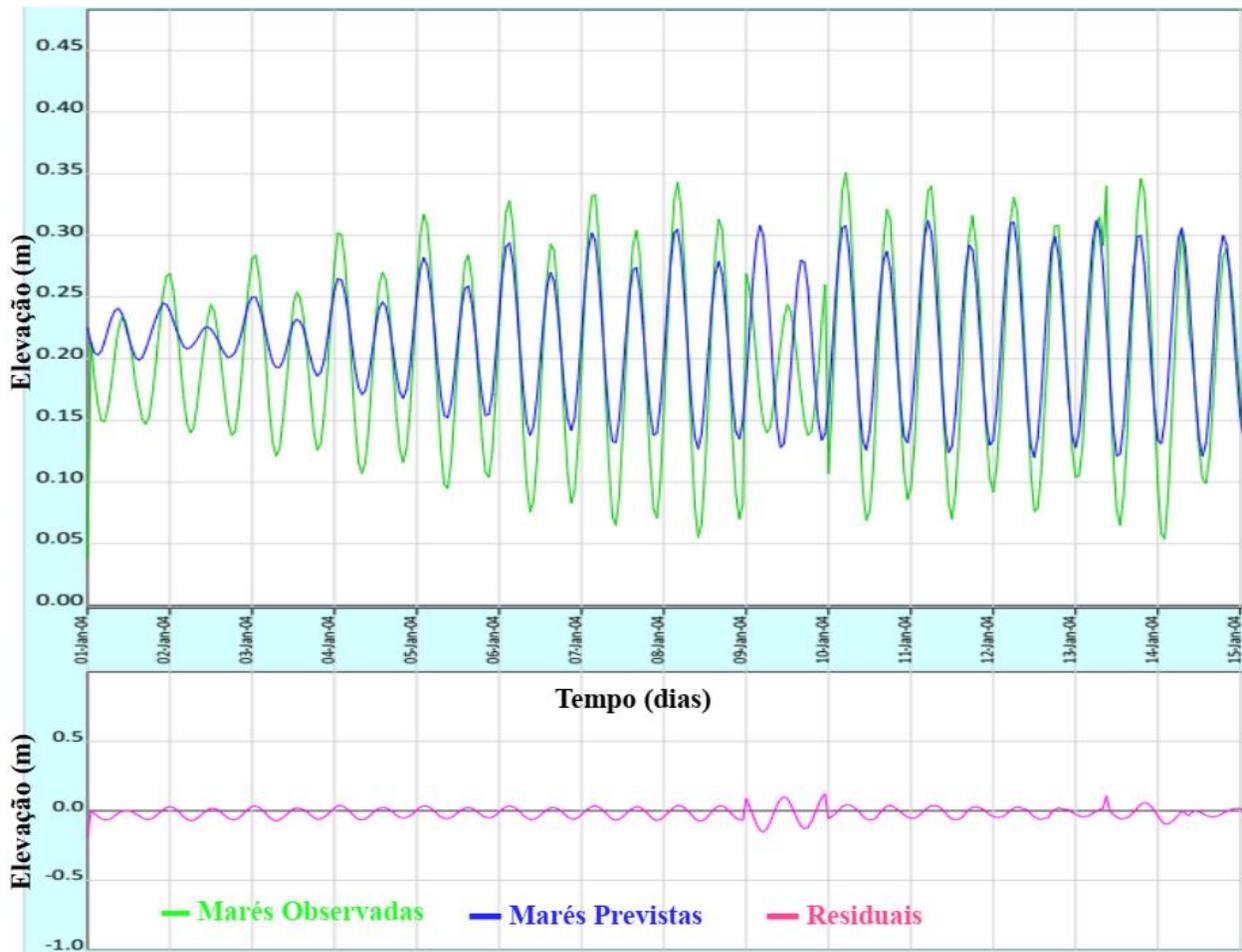


Gráfico 3.1: Curva das marés observadas e previstas pelo TASK – Windows Edition na estação 3 ou de Nacala C no de 2004 nos primeiros 14 dias.

4.3 Previsão das Marés usando software TASK- POLTIPS-3

Com base no modelo TASK-POLTIPS-3 realizou-se uma previsão das marés para o porto de Nacala para o ano de 2020 cujos resultados das águas baixas (maré morta) e águas altas (maré viva) estão representados nos gráficos 3 e 4.

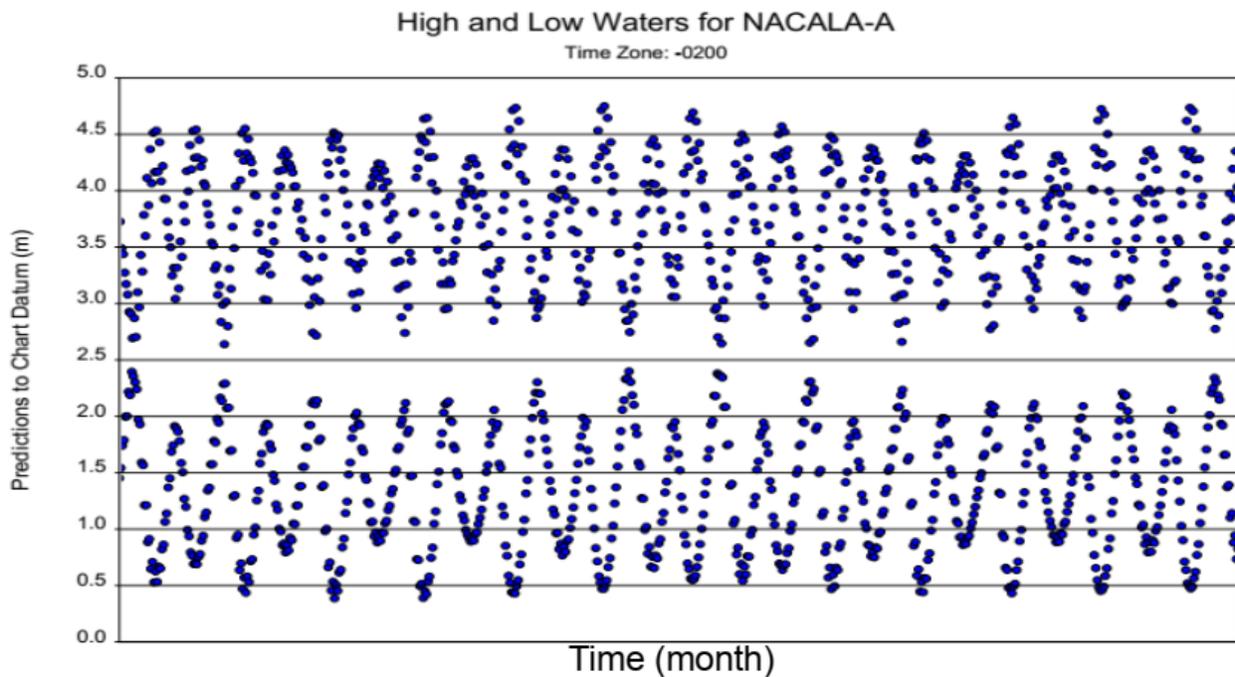


Gráfico 4: Curvas da predição de marés usando software TASK- POLTIPS-3 na estação 1 ou de Nacala-A para o ano de 2020.

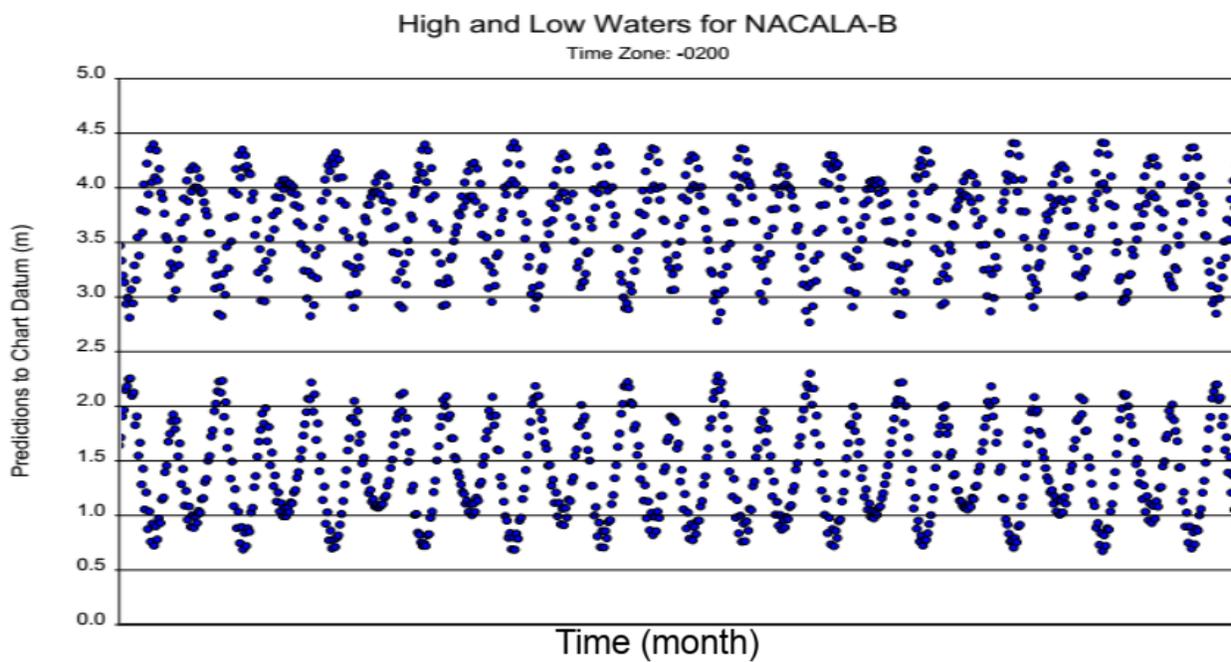


Gráfico 5: Curvas da predição de marés usando software TASK- POLTIPS-3 na estação 2 ou em Nacala-B para o ano de 2020.

V. DISCUSSÃO

5.1 Constituintes de Maré

Para componente semi-diurna principal lunar M2

A constituinte M2 representa a maré que se deve ao movimento de uma lua fictícia (lua média) que percorre o equador com movimento uniforme e sempre à mesma distância média da Terra. Este movimento origina duas preia-mares e duas baixa-mares sendo por isso designada por constituinte lunar principal semi-diurna. Esta é a constituinte de maior amplitude e tem o dobro da velocidade média do movimento aparente da Lua. Na tabela 1, 2 e 3 estão representadas as amplitudes desta constituinte obtidas para as séries temporais em estudo, nestas tabelas verificamos a existência de uma variabilidade nos valores da amplitude como 1.10 para Nacala A, 1.04 para Nacala B e 0.10 para Nacala C. Comparando o resultados obtidos nos vários anos.

Componente semi-diurna principal solar S2

A constituinte S2 representa a maré que se deve ao movimento de um sol fictício (sol médio) que percorre o equador com movimento uniforme e sempre à mesma distância média da Terra. Esta é designada por constituinte solar principal semi-diurna e é a constituinte com a segunda maior amplitude.

Componente diurna principal lunar O1

Componente O1 com período de 25.82 h e fase é de 4.79, 7.18 e 13.76 para Nacala A, B e C respectivamente. Os valores de amplitude representam a maior componente diurna na área de interesse. As tabelas 1, 2 e 3, mostra que a amplitude máxima da constituinte foi de 0.088 que pertence a Nacala B e apresenta pouca variação tendo em conta o valor da Nacala A é maior comparando com o de Nacala C.

Componente diurna solar-lunar K1

Componente período de 23.93h e fase de 14.53 para Nacala A, 341.64 para Nacala B e 35.15 para Nacala C, esta componente apresenta-se menos amplificadas na parte da baía, se tem amplitudes ao redor de 0.1093, 0.1095 e 0.0074 para Nacala A, B e C respectivamente. O máximo em amplitude as series estudadas foi registado em Nacala B.

5.2 Marés observadas e previstas, analisadas pelo TASK

O gráfico 1, 2 e 3 apresentam uma comparação das marés observadas com as modeladas. Como pode ser visto, tanto as marés observadas assim como as previstas mostram a ocorrência de duas marés vivas e duas marés mortas durante o período em análise que vai desde 14 de Janeiro à 21 de Março de 1975 de estação 1, da segunda estação que vai desde 3 de Outubro de 1982 à 1 de Janeiro de 1983, e da terceira estação que é de 2004. Nos três casos, as marés são semidiurnas, observando-se duas preia-mares e duas baixa-mares em 24 horas solares, tanto nas marés vivas assim como nas marés mortas. Os valores da elevação encontram-se na tabela 2, 4 e 6 que pertence a Nacala A, Nacala B e Nacala C respectivamente onde pode se verificar o valor máximo das marés observadas foi de 4.67 metros para Nacala A, 4.49 metros para Nacala B e 4.83 metros para Nacala C e foi registado durante a maré viva, enquanto o valor mínimo foi de 0.26, 0.56 e 0.2 metros e foi registado na maré morta.

Todas componentes analisadas têm amplitudes e fases não nulas, excepto o componente Z0 que a fase é nula para Nacala A, Nacala B e Nacala C, o que significa que essas componentes foram bem resolvidas pelo programa usado.

As marés obtidas nestas análises estão dentro do padrão descrito por (Consultec, 2007), onde este diz que todas marés que se fazem sentir na costa Moçambicana são semi-diurnas que apresentam duas enchentes e duas vazantes por dia apresentando uma desigualdade diária em torno de 40 à 50 cm em Nacala. As marés observadas e previstas/modeladas demonstram-se ser semi-diurnas com períodos de marés vivas e marés mortas num período de 14 dias. Esse tipo de marés também foi encontrado por Nehama (2004) no seu estudo de previsão de marés na Ilha de Inhaca.

5.3 Predição de marés usando o software TASK – POLTIPS-3

Ondas de maré são extraídas de registos, a partir da determinação de suas amplitudes e fases, através da análise harmónica das séries temporais de observações com ênfase nas frequências de maré. No caso deste trabalho, há um maior interesse nas componentes semi-diurnas M2 e S2, correspondentes aos efeitos principais da Lua e do Sol respectivamente, os quais são predominantes no potencial gerador de maré.

Os gráficos 3 e 4 ilustram o comportamento das amplitudes da constituinte de maré semi-diurnas, que possui amplitude máxima de cerca de 4.75 m e amplitude mínima é cerca de 2.6 m na maré

viva, e na maré morta a amplitude máxima é de 2.4 m e a amplitude mínima é de 0.39 m para Nacala-A (no gráfico 3), para Nacala-B (gráfico 4) a amplitude máxima da maré viva é de 4.41 m, a amplitude mínima da maré viva é de 2.7 m, e para a maré morta, a amplitude máxima é de 2.25 e a mínima é de 0.67 m. Ao analisar os gráficos os maiores valores estão concentrados na maré viva.

VI. CONCLUSÕES

A partir das constantes harmónicas calculadas, foi determinado o número de forma F , que caracteriza o tipo de maré, definido como a razão entre a soma das amplitudes das principais constituintes diurnas e semidiurnas (Defant, 1961). Sendo $O1$, $K1$, $M2$ e $S2$ as respectivas amplitudes dessas componentes, se define $F = (O1 + K1) / (M2 + S2)$. No Porto de Nacala observam-se marés semi-diurnas com factor de forma igual a 0.103 para Nacala A, 0.121 para Nacala B, e 0.115 para Nacala C. Isso indica que os valores estão na faixa de $0 < F < 0,25$, a maré é definida como semidiurna.

A amplitude máxima da maré semidiurna com contribuição diurna, na sizígia, é estimada por $(M2 + S2) + (O1 + K1)$ onde se assume que as quatro principais componentes estejam em fase, neste caso os valores são 1.952, 1.823 e 0.139 para Nacala A, B e C respectivamente. A correspondente amplitude máxima, na quadratura, é estimada por $(M2 - S2) + (O1 - K1)$, quando as principais componentes estão em oposição de fase e resultados são 0.394 para Nacala A, 0.435 para Nacala B e 0.035 para Nacala C.

Os resultados da análise obtidos, indicam que para as marés previstas/modeladas as componentes de maré mais importantes para esta região do Porto de Nacala são as semi-diurnas das quais, a principal lunar ($M2$) e a principal solar ($S2$), possuindo as maiores amplitudes e diferenciando-se das observadas com uma média 2.529 metros para Nacala A e 2.533 para Nacala B de altura. E chega-se a conclusão de que o método de análise aqui apresentado é mais viável por ter apresentado valores das elevações mais próximos das elevações observadas. É sabido que as marés são influenciadas de uma maneira significativa pelos equinócios e solstícios, estes fenómenos provocam variações consideráveis na maré total provocando assim um aumento ou diminuição de amplitudes das marés no ponto em questão.

O modelo TASK pode ser usado para identificar os constituintes harmónicos e prever marés no Porto de Nacala com sucesso, pois a maré prevista reflecte a maré observada, os gráficos não apresentam saltos ou falhas nem interrupções consideráveis e a menor elevação é maior que o nível de referencia.

VII. Referências Bibliográficas

- ✓ Atlantic meridional overturning circulation. at 25°N. *Nature*, 438,.
- ✓ Consultec. (2007). Estudo Ambiental Simplificado da Dragagem do Canal de Acesso ao Porto da Beira. Relatório Final. Editado em Maputo – Moçambique.
- ✓ Defant, Albert, 1961. *Physical Oceanography*, Vol.II, Pergamon Press, The Macmillan Co, New York
- ✓ FRANCO, A. S. (1988). *Tides: Fundamentals, Analysis and Prediction*. 2. ed. São Paulo: Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica (FCTH).
- ✓ HARARI, Joseph. *Fundamentos em Modelagem Numérica em Oceanografia*. São Paulo: Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, 2015.
- ✓ KALIL, A. F. D. (1999). Contribuições ao estudo do nível médio do mar no Estado do Rio de Janeiro.
- ✓ Jica (2011) - *EIA for the Rehabilitation and Expansion of Nacala Port* Volume 1: Non-Technical Summary.
- ✓ MACHADO, F. (1979). *Introdução a Oceanografia*, Instituto Universitário dos Açores.
- ✓ MESQUITA, A. R. de. (2003). *Sea Level Variations Along the Brazilian Coast : A Short Review*. *Journal of Costal Research*,.
- ✓ MIGUENS, A. P. (1996). *Navegação: a Ciência e a Arte : Navegação costeira, estimada e em águas restritas. Navegação costeira, estimada e em águas restritas*.
- ✓ Nehama, F. P. J. (2004). *Previsão de marés na estação biológica de Inhaca*, Universidade Eduardo Mondlane, Maputo, Moçambique.
- ✓ Oliveira, A. (1997). *ffCxyz • l Qinput dl*, 33(8), 1935–1946.
- ✓ RISER, J. L. Q. (1999). *Géologie et Milieux Naturel*. Dunod, Paris, 320 p.
- ✓ Sato, O. T. (2016). *Oceanografia Física*, (June).
- ✓ Sillva, A. F. da. (2011). *Características Hidrodinâmicas do Estuário da Beira, Moçambique*. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- ✓ Taveira-pinto, F., & Veloso-gomes, F. (2015). *Análise das Marés Meteorológicas em Leixões*, (October).

VIII. ANEXOS I

Tabela 1: Fases e amplitudes calculadas com 95% de intervalo de confiança.

Estação 1, intervalo de Janeiro à Março de 1975			
#	Componentes	Amplitudes(m)	Fases (°)
1	Z0	2.52723	0
2	MM	0.04846	158.25
3	MSF	0.02131	220.46
4	Q1	0.02113	345.15
5	O1	0.07324	4.79
6	M1	0.01256	58.69
7	K1	0.10929	14.53
8	J1	0.00204	18.58
9	OO1	0.00797	12.62
10	MU2	0.06315	357.32
11	N2	0.27549	7.15
12	M2	1.09972	33.01
13	L2	0.11212	16.66
14	S2	0.6696	83.38
15	2SM2	0.02428	51
16	MO3	0.00612	77.69
17	M3	0.01116	168.71
18	MK3	0.00333	0.89
19	MN4	0.00224	103.13
20	M4	0.00425	66.15
21	SN4	0.00209	352.39
22	MS4	0.00124	117.42
23	2MN6	0.00145	247.67
24	M6	0.0011	147.29
25	MSN6	0.00036	295.53
26	2MS6	0.00191	259.83

27	SM6	0.00185	264.21
----	-----	---------	--------

Tabela2: Fases e amplitudes calculadas com 95% de intervalo de confiança.

Estação 2, intervalo de Outubro de 1982 à Janeiro de 1983			
#	Componentes	Amplitudes (m)	Fases (°)
1	Z0	2.53199	0
2	MM	0.03985	221.91
3	MSF	0.01394	193.31
4	Q1	0.01927	0.22
5	O1	0.08757	7.18
6	M1	0.00588	44.13
7	K1	0.10953	341.64
8	J1	0.01053	317.85
9	OO1	0.00848	340.09
10	MU2	0.01484	254.64
11	N2	0.18596	17.39
12	M2	1.0414	28.36
13	L2	0.05867	26.77
14	S2	0.58448	55.72
15	2SM2	0.01487	203.28
16	MO3	0.00405	78.92
17	M3	0.01235	127.24
18	MK3	0.01075	201.23
19	MN4	0.00554	39.75
20	M4	0.00339	334.51
21	SN4	0.00137	20.39
22	MS4	0.00808	30.57

23	2MN6	0.00181	25.15
24	M6	0.00201	84.74
25	MSN6	0.00151	73.33
26	2MS6	0.00083	3.62
27	2SM6	0.00121	166.56

Tabela3: Fases e amplitudes calculadas com 95% de intervalo de confiança para o ano de 2004

#	Componente	Amplitude (m)	Fase (°)
1	Z0	0.2024	0
2	SSA	0.01943	139.97
3	MM	0.01003	127.98
4	MSF	0.00389	315.5
5	MF	0.00387	247.29
6	2Q1	0.0012	27.93
7	SIG1	0.00096	269.54
8	Q1	0.00245	349.54
9	RHO1	0.00069	292.52
10	MP1	0.00164	140.38
11	M1	0.00101	171.67
12	CHI1	0.00061	111.12
13	P1	0.00239	330.7
14	PHI1	0.00301	357.7
15	TH1	0.00142	311.75
16	J1	0.0005	239.66
17	SO1	0.00117	7.31
18	OO1	0.00115	130.91
19	OQ2	0.00171	306.02
20	MNS2	0.00155	193.1
21	2N2	0.00215	339
22	MU2	0.00566	104.74

23	N2	0.00886	12.93
24	NU2	0.00609	145.24
25	OP2	0.01072	283.52
26	MKS2	0.02162	31.73
27	LAM2	0.00481	184.47
28	L2	0.00654	59.85
29	K2	0.01724	111.38
30	MSN2	0.00577	301.65
31	KJ2	0.00268	270.97
32	2SM2	0.00166	54.73
33	MO3	0.00041	122.09
34	M3	0.00064	173.3
35	SO3	0.00032	13.41
36	MK3	0.00023	266.74
37	SK3	0.00024	18.47
38	MN4	0.00046	349.36
39	M4	0.00009	303.65
40	SN4	0.00031	92.17
41	MS4	0.00021	98.21
42	MK4	0.00022	204.34
43	S4	0.00023	326.31
44	SK4	0.00002	93.13
45	2MN6	0.0003	84.29
46	M6	0.00015	27.9
47	MSN6	0.00038	245.33
48	2MS6	0.00024	304.63
49	2MK6	0.00031	25.92
50	2SM6	0.0003	15.48
51	MSK6	0.00015	128.55

ANEXOS II

Tidal Statistics for NACALA PORT

Port details: TASK Analysis: 26 HCs ; Start: 14/01/1975 (000001) ; End: 21/03/1975 (001584)
Datum of Predictions = NACALA

Highest Astronomical Tide (HAT): 4.78 metres
HAT occurs at 14:36 (local time) on 19/05/2015
Lowest Astronomical Tide (LAT): 0.34 metres
LAT occurs at 20:36 (local time) on 10/09/2014
Maximum Tidal Range possible: 4.39 metres

Mean High Water Spring (MHWS): 4.30 metres
Mean High Water Neap (MHWN): 2.96 metres
Mean Low Water Neap (MLWN): 2.10 metres
Mean Low Water Spring (MLWS): 0.76 metres
Tide Type: 0.10 (semidiurnal)
Shallow Water Influence: 0.00

Selected Period: 01/01/2020 to 31/12/2020

Highest Tide in this period: 4.75 metres
Lowest Tide in this period: 0.39 metres
Largest Tidal Range in this period: 4.31 metres

Average Flood time: 6 hours 13 minutes
Average Ebb time: 6 hours 12 minutes
Quickest Flood time: 5 hours 32 minutes

Tidal Statistics for NACALA-B

Port details: TASK Analysis: 26 HCs ; Start: 03/10/1982 (000001) ; End: 01/01/1983 (002160)
Datum of Predictions = Chart Datum

Highest Astronomical Tide (HAT): 4.45 metres
HAT occurs at 16:12 (local time) on 27/04/2013
Lowest Astronomical Tide (LAT): 0.62 metres
LAT occurs at 22:00 (local time) on 14/06/1999
Maximum Tidal Range possible: 3.81 metres

Mean High Water Spring (MHWS): 4.16 metres
Mean High Water Neap (MHWN): 2.99 metres
Mean Low Water Neap (MLWN): 2.08 metres
Mean Low Water Spring (MLWS): 0.91 metres
Tide Type: 0.12 (semidiurnal)
Shallow Water Influence: 0.01

Selected Period: 01/01/2020 to 31/12/2020

Highest Tide in this period: 4.41 metres
Lowest Tide in this period: 0.67 metres
Largest Tidal Range in this period: 3.74 metres

Average Flood time: 6 hours 10 minutes
Average Ebb time: 6 hours 14 minutes
Quickest Flood time: 5 hours 45 minutes