

UMA BREVE ANÁLISE TEÓRICA SOBRE A EVOLUÇÃO DA LINHA COSTEIRA DA CIDADE DA BEIRA (MOÇAMBIQUE)

A BRIEF THEORETICAL ANALYSIS OF THE EVOLUTION OF THE COASTLINE OF THE CITY OF BEIRA (MOZAMBIQUE)

Jorge Medina

Professor do departamento de Geociências da Universidade de Aveiro (Portugal).

E-mail: jmedina@ua.pt

 <https://orcid.org/0000-0002-7865-0834>

Mário Silva Uacane

Doutor em Geografia. Professor do departamento de Geociências da Universidade de Licungo
(Moçambique).

Email: uacanehomol@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-6782-0631>

RESUMO

Recorrendo as imagens satélite de todo planeta Terra em que o seu histórico vai garantido pelas datas em que essas são disponibilizadas e registradas podem ser feitos vários estudos sobre a dinâmica superficial deste planeta. Como o Nessa base, o objetivo deste trabalho é perceber a evolução da linha costeira nas praias da cidade da Beira em Moçambique, tendo sido escolhidas imagens datadas de 2004, 2012 e 2021. Com efeito, para o traçado das linhas de costa foram usadas como referências as edificações existentes e a linha da vegetação visível ao longo das sucessivas praias num percurso de cerca de sete (7) quilómetros. As linhas foram traçadas sobre as imagens do Google Earth e o trabalho foi todo realizado em ambiente SIG, para o qual foi usado o ArcGIS v10.5 mais a extensão DSAS v5 com o objetivo de quantificar estatisticamente a taxa de recuo (erosão) e/ou avanço (acrecção) verificada nas praias para essas datas. Entretanto, mesmo com aparência de não ter havido grande variação da linha costeira no intervalo de tempo de 2004 a 2021, por aí 17 anos, após dados estatísticos calculados pelo DSAS indicadores de que houve erosão e/ou acreção, torna-se claro que se verificou um recuo generalizado da linha costeira nas praias da cidade da Beira para este período de tempo que chega a ser da ordem dos 20 metros. Na realidade, para quem passa na área de estudo verifica que houve uma certa alteração na linha da costa, recuo em alguns trocos ao longo dessas pras da Beira.

Palavras-chave: Evolução; Linha da costa, Beira.

ABSTRACT

Google Earth provides satellite images of the entire planet Earth with registration of the date they were photographed. As the challenge of this work is to understand the evolution of the coastline on the beaches of the city of Beira in Mozambique, images dated 2004, 2012 and 2021 were used. Buildings and the visible vegetation line were used to trace the shorelines along approximately 7 kilometers. The shorelines were drawn on Google Earth images and the tasks was all carried out in a GIS environment, for which ArcGIS v10.5 was used plus the DSAS v5 extension with the intention of statistically quantify the rate of retreat (erosion) and/or or advancement (accretion) observed on the beaches for these dates. Although visually appears that there wasn't great variation in the coastline in the time interval from August 2004 to July 2021 (a period of 17 years), after statistical data calculated by DSAS indicate that there was a general retreat of the coastline on the beaches of the city of Beira for this period of time, reaching around 20 meters.

Keywords: Evolution, Coastline, Beira.

INTRODUÇÃO

Considera-se como zona costeira a interface de transição entre o domínio marinho e o domínio terrestre. É uma área com elevada complexidade e dinamismo onde as mudanças presentes podem variar não só na escala temporal como na escala espacial. Os processos de mudança englobam principalmente a erosão ou a acreção da costa. A erosão consiste na remoção dos sedimentos ocasionado por processos químicos, físicos e biológicos, particularizando a ação das ondas, enquanto a acreção, o mecanismo contrário do anterior, expressa-se pela acumulação de sedimentos nesses locais.

Estes processos são acompanhados pela variação do nível médio do mar, que devido ao aumento das atividades antropogênicas torna-o mais acelerado. Durante décadas, as áreas costeiras têm vindo a ser sujeitas a intensa urbanização acompanhada de crescimento populacional à qual a cidade da Beira não é excepção. Por ser uma zona com elevada importância, não só do ponto de vista social como económico, necessita de uma gestão, planeamento e compreensão adequados, para impedir ou pelo menos minimizar as várias ameaças a que estas áreas se encontram sujeitas.

Para verificar a evolução da linha costeira nas praias da cidade da Beira, após uma análise detalhada sobre a qualidade das imagens disponibilizadas no *Google Earth* e de forma a haver um intervalo de temporal considerado aceitável, foram escolhidas imagens com datas de agosto de 2004, Outubro de 2012 e Julho de 2021 (Figura 1). Usando as edificações e a linha de vegetação como critério, foram traçadas as linhas para cada uma dessas datas e projetadas no ArcGIS. Sobre elas foi usado o DSAS para calcular estatisticamente a erosão e/ou acreção de sedimentos traduzindo-se num recuo e/ou avanço da linha de costa, respectivamente.

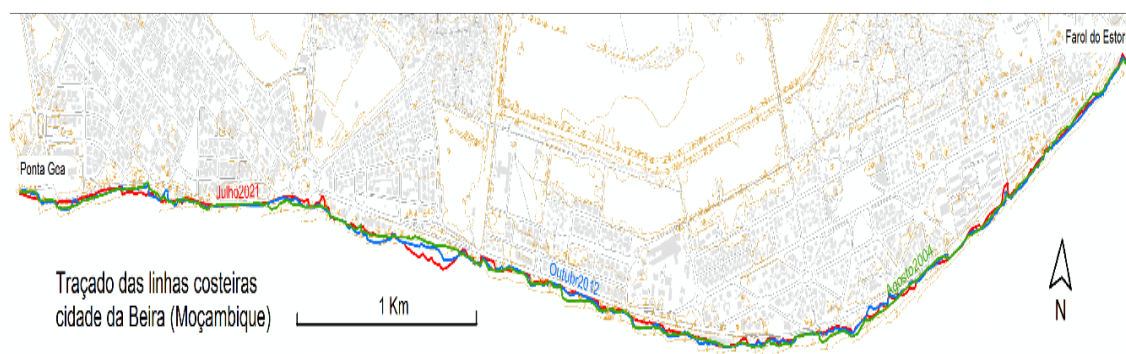


Figura 1- Traçado das linhas de costa nas praias da cidade da Beira (Moçambique) sobre imagens de satélites do *Google Earth* com datas de agosto 2004 (verde), Outubro 2012 (azul) e Julho de 2021 (vermelho) e sua projeção no ArcMap.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para o estudo detalhado da evolução costeira de uma dada região, as linhas de costa podem ser traçadas, ou desenhadas, a partir de uma grande variedade de fontes, como por exemplo: fotografias aéreas de pormenor, ortofotografias, mapas históricos georreferenciados de levantamentos costeiros, imagens de satélite, imagens LIDAR, entre outros. Podem também ser usados dados coligidos em levantamentos de campo com sistemas de posicionamento global obtidos especificamente para o efeito, incluindo a medição de perfis transversais ao longo de uma dada costa, em intervalos de tempo bem estabelecidos que têm em consideração os períodos de maior e menor agitação marítima que de um modo geral acabam por condicionar respectivamente os períodos de erosão e acreção das praias.

Traçado das linhas costeiras (*Shorelines*)

Com o objetivo de compreender a evolução da linha costeira nas praias da cidade da Beira em Moçambique, não havendo disponível fotografia aérea de grande escala nem perfis transversais medidos, foram selecionadas imagens de satélite que estão disponíveis no *Google Earth*. Após análise detalhada de todas as imagens disponíveis, foram escolhidas as que apresentavam melhor qualidade (maior contraste de imagem) e melhor visualização (com poucas ou nenhuma nuvens) com as seguintes datas: 15 de agosto de 2004, 6 de outubro de 2012, fazendo um intervalo temporal de aproximadamente 8 anos e 22 de julho de 2021, fazendo outro intervalo temporal de cerca de 9 anos. Se considerarmos a primeira e a última datas, o intervalo de tempo é de aproximadamente 17 anos.

O traçado de uma linha de costa deve ter como referência uma característica linear consistente bem identificável, que podem ser: o limite externo do cordão dunar, se for o caso, a linha de vegetação, a linha de preamar, a linha de baixamar, ou mesmo a linha de separação húmido/seco.

Para o caso presente não existe um cordão dunar natural preservado; dado o desconhecimento da hora local a que as imagens foram captadas, não é possível afirmar se se tratava de baixa-mar, preamar ou intermídia.

Assim, dadas as características das praias da cidade da Beira, uma cidade com latitude da ordem dos 20° Sul banhada pelo Oceano Índico, e dado existirem várias casas construídas na praia, foram usadas estas edificações e a vegetação existente para traçar as linhas de costa, por serem as características morfológicas melhor identificáveis e visíveis em todas as imagens usadas. Assume-se um erro de 10 metros no rigor do traçado das linhas de costa atribuídos a eventuais desfasamentos na georreferenciação e sobreposição das imagens satélite e, ainda, na identificação exata da vegetação já que algumas das linhas podem ter sido desenhadas no limite da copa de árvores ou a sombra delas. As linhas têm cerca de sete quilómetros de comprimento cada uma e foram traçadas entre a Ponta Gea, a Oeste, e o Farol do Estoril, a Este.

As linhas foram desenhadas diretamente sobre as imagens de satélite no *Google Earth* (Figura 1) e durante o traçado das mesmas o ecrã do computador foi mantido a uma escala aproximada constante de 1/1000 (onde 10 centímetro no ecrã correspondia a 100 metros no terreno) para que desta forma o rigor do traçado fosse idêntico para as três linhas. As linhas ficaram gravadas em *layers* com formato KML.

Software usado (ArcMap e DSAS)

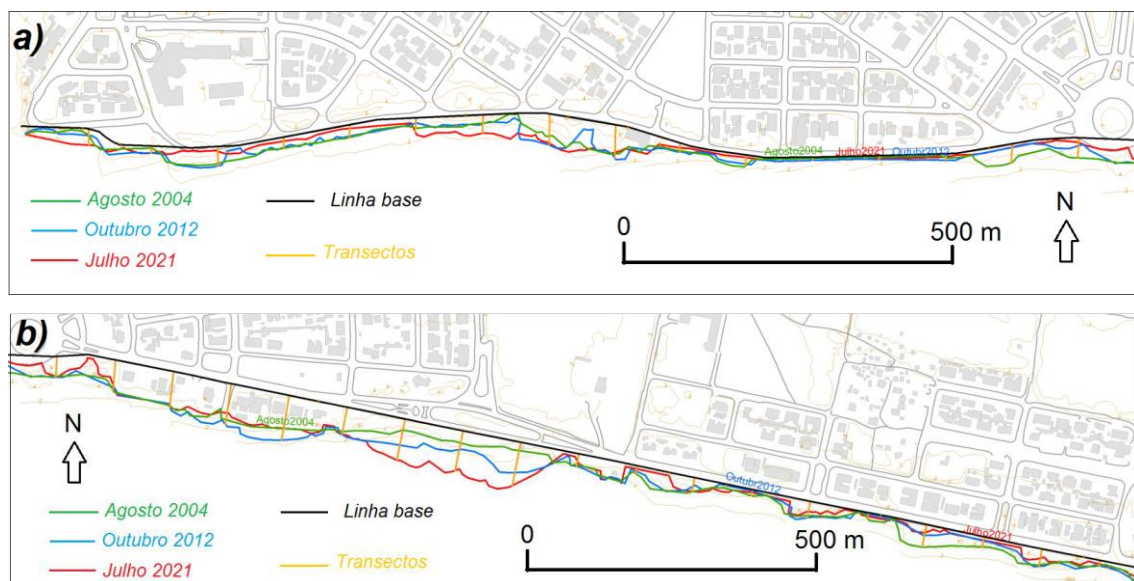
O restante trabalho foi executado em ambiente SIG (Sistemas de Informação Geográfica) com o ArcMap do ArcGIS, *software* criado e desenvolvido pela ESRI (Environmental Systems Research Institute), versão 10.5. Foi também instalada a extensão DSAS (Digital Shoreline Analysis System) versão 5.0 que é um *software* para computador desenvolvido pela USGS (United States Geological Survey), disponibilizado gratuitamente em Digital Shoreline Analysis System (DSAS) (usgs.gov). Este *software* serve para calcular as variações da linha costeira ou a mudança de posição de um qualquer outro limite ao longo do tempo (Himmelstoss, 2018). O DSAS v.5 é um suplemento que trabalha com o ArcGIS e calcula estatisticamente a taxa de variação de dados vectoriais para um dado intervalo de tempo.

O DSAS tem como requisito trabalhar num sistema de coordenadas projetadas métrico. Para este trabalho, no ArcMap foi definido o sistema de coordenadas UTM (Universal Transverse Mercator) no *Datum* WGS84 (World Geodetic System de 1984) Fuso 36S (**WGS 1984 UTM Zone 36S**). Requer também que o formato da data do computador esteja em *English (USA)*, ou seja, (mês/dia/ano) e sistema operativo *Windows 10*.

Outro requisito importante é que todas as linhas costeiras desenhadas (*shorelines*) (Figura 2) estejam no mesmo *feature class* e armazenadas dentro de uma *personal geodatabase* criada para o efeito. Cada linha de costa desenhada representa um ou mais vectores com uma posição geográfica e uma posição temporal bem definida, pelo que lhe deve ser atribuída um campo (*field*) com uma data na tabela de atributos da *feature class*, entre outros.

Traçado da linha base (*baseline*)

Deve ser traçada uma linha base (*baseline*) em *feature class* dentro da mesma *personal geodatabase* já criada e que pode ser posicionada *onshore*, *offshore* ou *midshore*. É a partir desta linha base que o DSAS vai traçar perpendicularmente os transectos (*transects*) com um espaçamento definido pelo utilizador (Figura 2). No presente estudo foram usadas a Avenida Mateus Sansão Muthemba e Avenida FPLM para traçar a linha base, ou seja, em posição *onshore*.



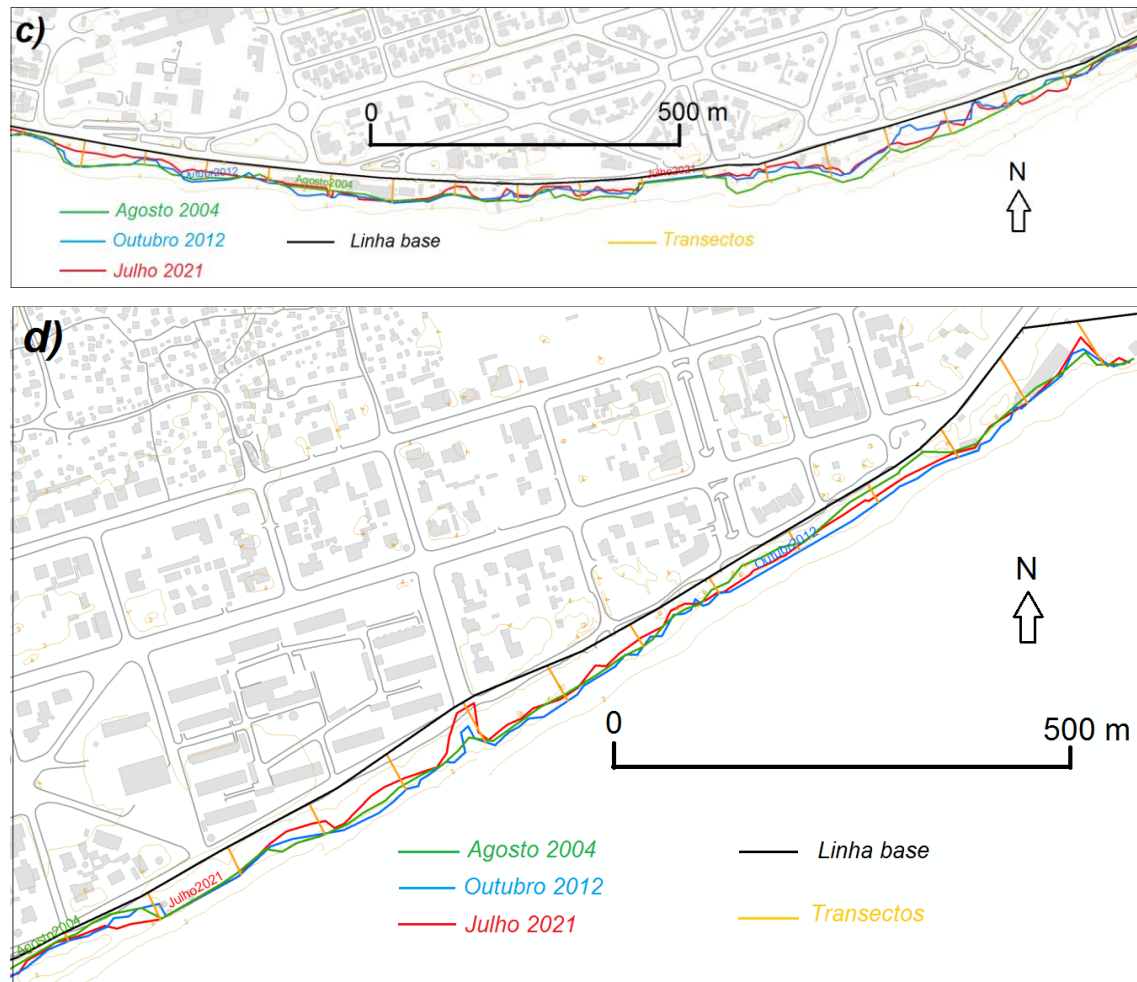


Figura 2- Composição de quatro imagens das praias da cidade da Beira (Moçambique) *a, b, c e d*, dispostas no sentido de Oeste (Ponta Gea) para Este (Farol do Estoril), ao longo de uma extensão de cerca de 7 quilómetros, com o traçado das linhas costeiras datadas de Agosto de 2004 (verde), Outubro de 2012 (azul) e Julho de 2021 (vermelho), linha base (preto) e transectos (amarelo) espaçados de 100 em 100 metros.

3. Traçado dos transectos (*transects*)

Usando a linha base como ponto de partida, os transectos vão cruzar as linhas costeiras previamente seleccionadas. Os pontos de intersecção fornecem informações de localização e temporal que são usadas para calcular as taxas de variação. As distâncias da linha base a cada ponto de intersecção ao longo de um transecto são usadas para calcular os valores estatísticos escolhidos das taxas de variação da linha de costa para sejam expressas corretamente como valores negativos (erosão) ou positivos (acrecção).

No presente estudo, foi traçada uma linha base *onshore* e os transectos perpendiculares a esta espaçados de 100 em 100 metros perfazendo um total de 66 (Figura 2).

3.1 Cálculos estatísticos

Após ter sido criada a *feature class* dos perfis transversais, e após todas as actualizações, edições e modificações terem sido feitas, os dados são usados para calcular estatisticamente as taxas de variação. Todos os métodos usados para calcular as taxas de variação da linha de costa baseiam-se nas diferenças medidas entre as posições da linha costeira ao longo do tempo. As taxas de variação calculadas são expressas em metros (m) e em metros por ano (m/ano), medidos ao longo dos transectos.

É possível escolher o número de linhas costeiras que um transecto deve cruzar para ser incluído nas análises estatísticas selecionadas. De todos os cálculos estatísticos que o DSAS faz, três deles requerem apenas duas linhas costeiras traçadas para o seu cálculo (*Shoreline Change Envelope-SCE*, *Net Shoreline Movement-NSM* e *End Point Rate-EPR*) enquanto taxas de regressão (*Linear Regression Rate-LRR* e *Weighted Linear Regression-WLR*) requerem três ou mais linhas costeiras traçadas. No presente caso de estudo foram traçadas três linhas costeiras datadas de agosto de 2004 (verde), Outubro de 2012 (azul) e Julho de 2021 (vermelha).

NSM: Net Shoreline Movement ou deslocação real da linha de costa é a distância medida entre a linha costeira mais antiga e a mais recente em cada transecto (Figura 3). pelo que as unidades estão em metros. Se esta distância for dividida pelo intervalo de tempo decorrido entre as duas posições, obtém-se uma taxa ou razão final.

SCE: Shoreline Change Envelope ou envolvente da variação da linha de costa representa a maior distância medida de entre todas as linhas costeiras que cruzam um determinado transecto (Figura 3). Como a distância total entre duas linhas costeiras não tem sinal, o valor para SCE é sempre positivo; relata uma distância (em metros), não uma taxa.

EPR: End Point Rate ou taxa (razão) final é calculado dividindo a distância do movimento da linha de costa pelo tempo decorrido entre a mais antiga e a mais recente, independentemente das suas posições (Figura 3). As principais vantagens do EPR são a facilidade de cálculo e o requisito mínimo de serem necessárias apenas duas linhas costeiras. A desvantagem é que, nos casos em que estão disponíveis mais dados, as informações adicionais são ignoradas. Mudanças no sinal (ou seja, acreção ou erosão), magnitude ou tendências cíclicas, podem passar despercebidas (Dolan et al., 1991; Crowell et al., 1997).

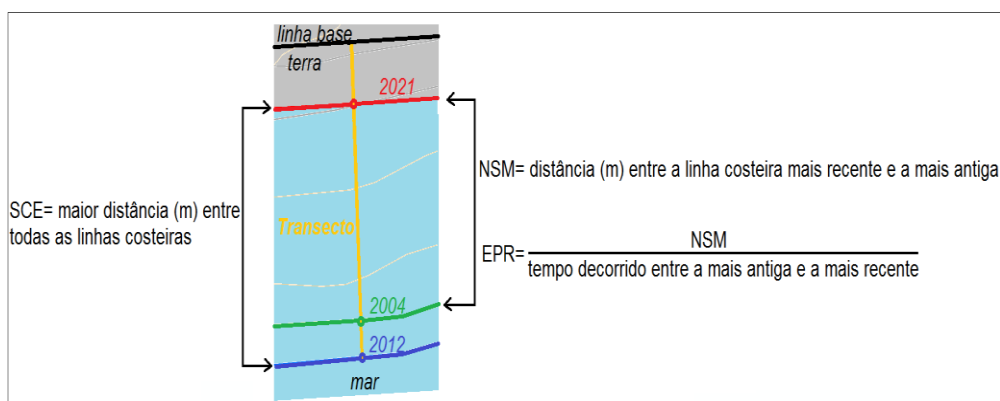


Figura 3- Exemplo de litoral num único transecto (amarelo) incluindo linha base (preto), linhas costeiras e pontos de interseção (multicolor) para ilustrar a relação entre os dados estatísticos de variação da linha costeira.

Deslocação real da linha costeira (NSM), Taxa final real (EPR) e Envolvente da variação da linha costeira (SCE). NSM é a distância medida ao longo do transecto em metros (m) entre o litoral mais antigo (2004, verde) e o litoral mais recente (2021, vermelho). O EPR é a distância NSM dividida pelo tempo decorrido entre a linha costeira mais antiga (2004, verde) e a mais recente (2021, vermelho), 17 anos neste exemplo. O SCE é a maior distância entre todas as linhas costeiras, independentemente da data.

LRR: Linear Regression Rate ou taxa de regressão linear é determinada ajustando uma linha de regressão de mínimos quadrados a todos os pontos da linha costeira para um transecto (Figura 4). A linha de regressão é calculada de forma que a soma dos resíduos quadrados (determinada ao elevar ao quadrado a distância de deslocamento de cada ponto de dados da linha de regressão e adicionar os resíduos quadrados juntos) seja minimizada. A taxa de regressão linear é a inclinação da linha. O método de regressão linear inclui os seguintes recursos: (1) todos os dados são usados, independentemente das mudanças na tendência ou precisão, (2) o método é puramente matemático, (3) o cálculo é baseado em conceitos estatísticos validados, e (4) o método é fácil de empregar (Dolan et al. 1991; Crowell et al., 1997). Se a taxa de regressão linear for positiva ocorre acreção (deposição de sedimentos); se a taxa de regressão linear for negativa, ocorre erosão (recuo da linha de costa).

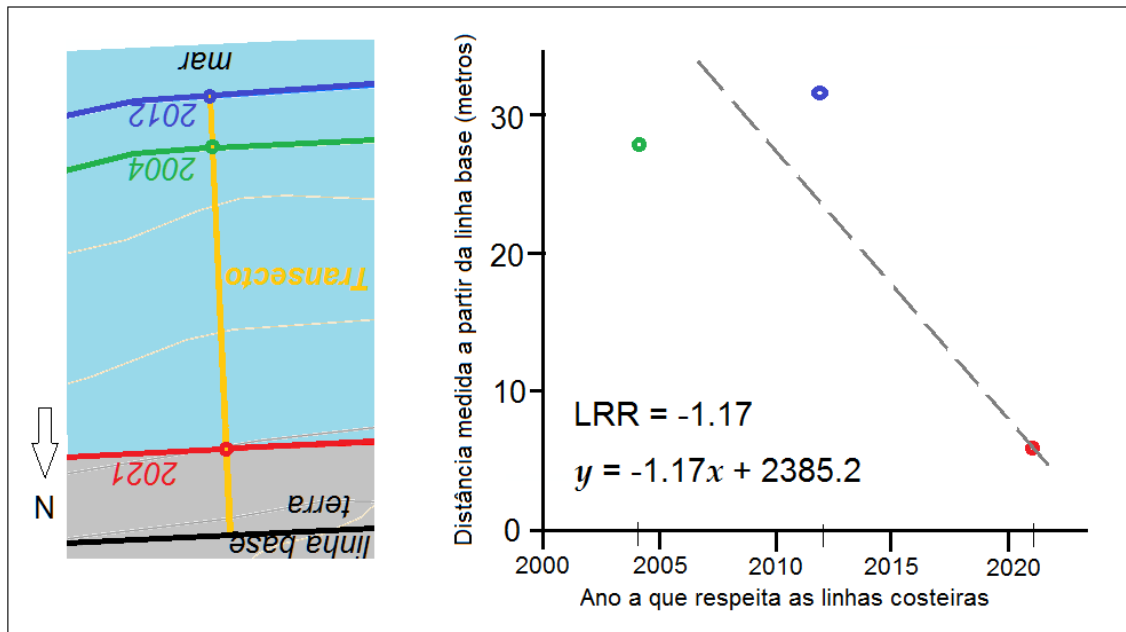


Figura 4-Exemplo de conjunto de dados do litoral (a mesma da Figura 3, só que está invertida) para um único transecto (linha base [preto], transecto [amarelo] e linhas costeiras e cruzamentos [multicolor]) para mostrar a relação entre o tempo e o espaço no mapa e como são apresentados de uma forma gráfica onde a distância medida a partir da linha base está no eixo dos Y *versus* ano da linha costeira no eixo dos X. A taxa de regressão linear (LRR) é determinada traçando as posições de interseção da linha de costa (distância da linha base) em relação ao tempo (anos) e calculando a equação de regressão linear, que no caso no exemplo presente é de $y = -1.17x + 2385.2$. A inclinação da equação que descreve a linha é a taxa de regressão que neste exemplo é de -1.17 metros por ano. Neste caso é negativa porque, apesar ter havido uma ligeira acreção desde Agosto de 2004 até Outubro de 2012 (ainda que o valor de 3 metros obtido seja inferior ao erro assumido), houve um claro recuo da linha de costa, ou seja, erosão até Julho de 2021.

WLR: Weighted Linear Regression ou taxa de regressão linear ponderada, é dada maior ênfase (maior ponderação) aos dados mais confiáveis para obter uma linha com melhor ajuste. No cálculo da estatística da taxa de variação das linhas costeiras é colocada maior ênfase em pontos de dados para os quais a incerteza da posição é menor. A ponderação (w) é definida como uma função da variância na incerteza da medição (e) (Genz et al., 2007):

$$w=1/e^2 \text{ na qual } e \text{ é o valor da incerteza no traçado da linha costeira.}$$

No presente caso de estudo não existe diferença entre LRR e WLR (são iguais) porque, dada a incerteza aquando do traçado das linhas costeiras sobre as imagens do Google Earth, foram assumidos 10 metros de erro para todas, ou seja, na ponderação o valor é o mesmo não interferindo no resultado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após terem sido seleccionados todos os parâmetros, com os dados estatísticos calculados, e sempre que os cálculos das taxas de variação estatísticas sejam executados, o DSAS v5.0 apresenta os dados de forma gráfica num formato do tipo “relatório resumido”. Quando concluído surgem duas

novas *features class* (taxas e intersecções) que são automaticamente adicionadas ao projeto ArcMap. Todos os cálculos estatísticos foram realizados para um Intervalo de Confiança de 90%.

A representação gráfica é apresentada em ArcMap com uma simbologia que tem em consideração os intervalos de valores que melhor se adequam aos dados obtidos para cada um dos cálculos estatísticos efetuados (NSM, SCE, EPR, LRR e WLR). A simbologia baseia-se numa escala de valores aos quais o DSAS atribui diferentes tons de azul para os intervalos de valores positivos, diferentes tons de vermelho para os valores negativos e um cinza neutro para valores próximos de zero (Figura 5).

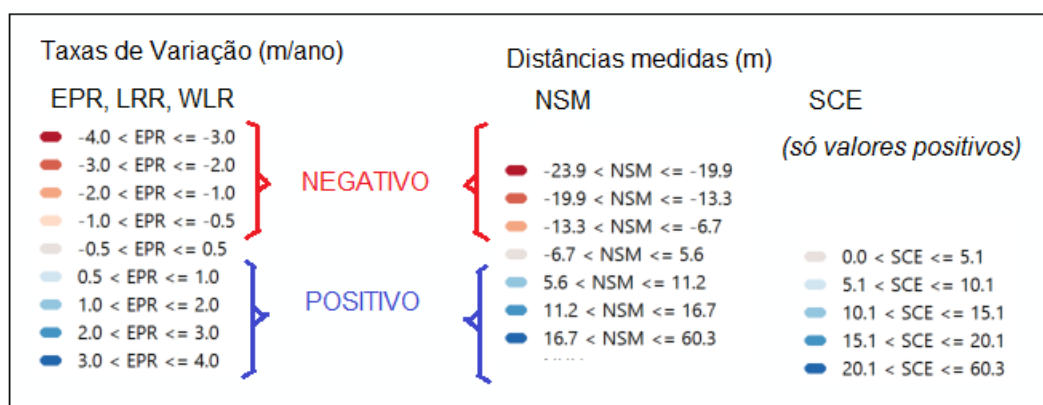
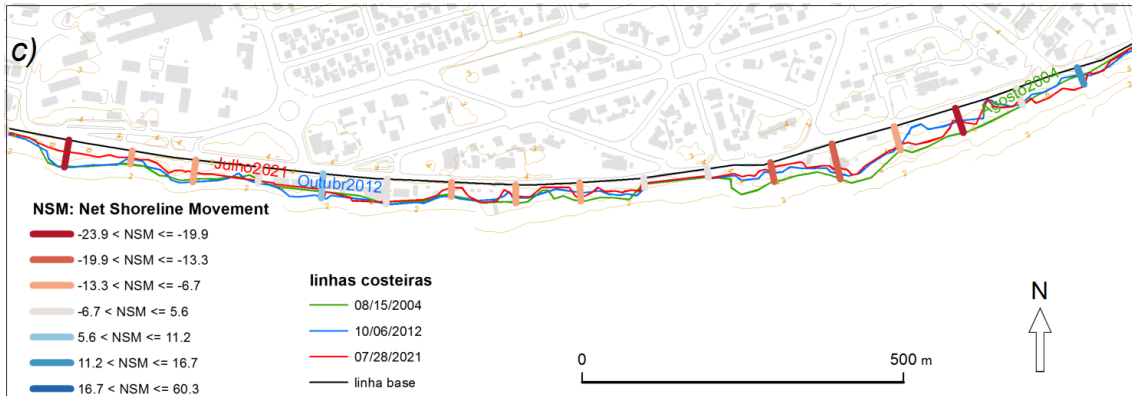
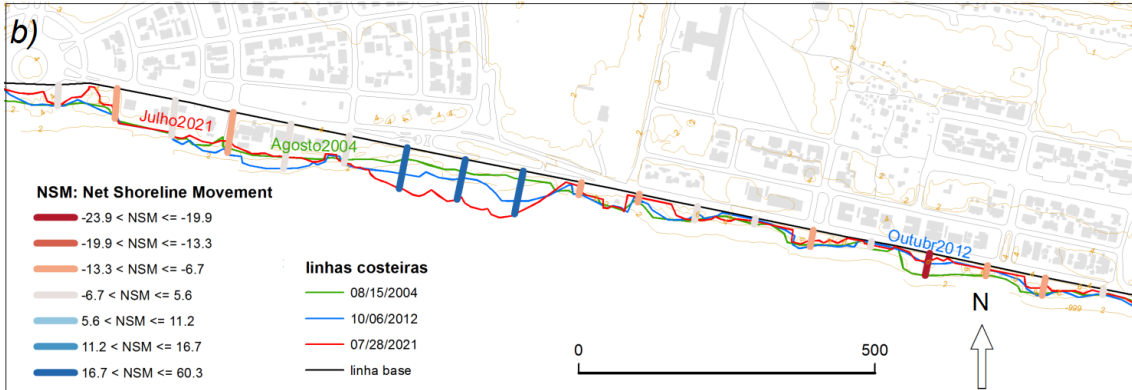
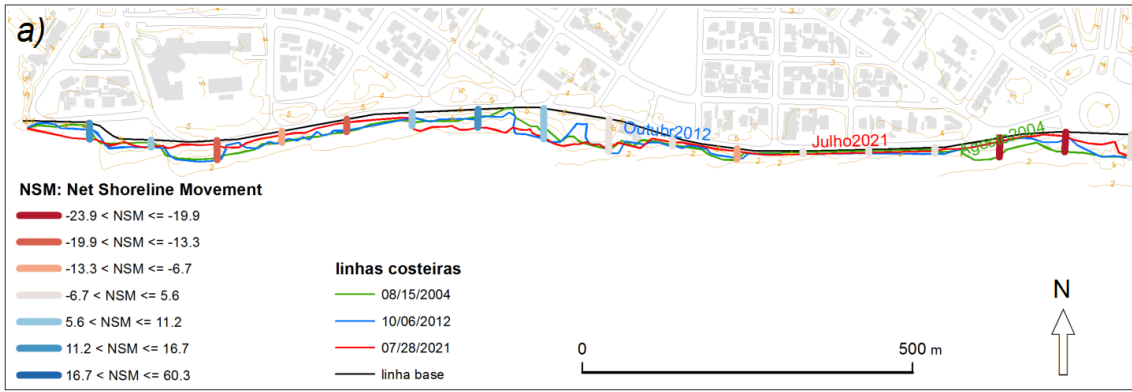


Figura 5- Simbologia usada na representação dos intervalos de valores das taxas de variação calculadas EPR, LRR e WLR (esquerda) e nas distâncias medidas calculadas NSM e SCE. Os tons de azul são usados para valores positivos, tons de vermelho para valores negativos e cinza neutro para valores próximos de zero.

As Figuras 6, 7, 8 e 9 apresentam os dados obtidos para os valores estatísticos calculados NSM (Net Shoreline Movement ou deslocação real da linha de costa), SCE (Shoreline Change Envelope ou envolvente da variação da linha de costa), EPR (End Point Rate ou taxa final) e LRR (Linear Regression Rate ou taxa de regressão linear). No presente estudo o WLR (Weighted Linear Regression ou taxa de regressão linear ponderada) não foi calculado porque durante o traçado das linhas costeiras sobre as imagens do Google Earth, dadas as incertezas, foram assumidos 10 metros de erro para todas, ou seja, na ponderação o valor é o mesmo e o WLR fica igual ao LRR.

Os valores obtidos são apresentados nas Figuras 6, 7, 8 e 9 numa forma semelhante à mostrada na Figura 2, ou seja, como a linha de costa estudada é muito longa (cerca de 7 km), foi necessário segmentar em quatro troços, aproximadamente com a mesma extensão, indicadas com as letras *a*, *b*, *c* e *d*, dispostas no sentido de Oeste para Este com início em Ponta Gea e final no Farol do Estoril.



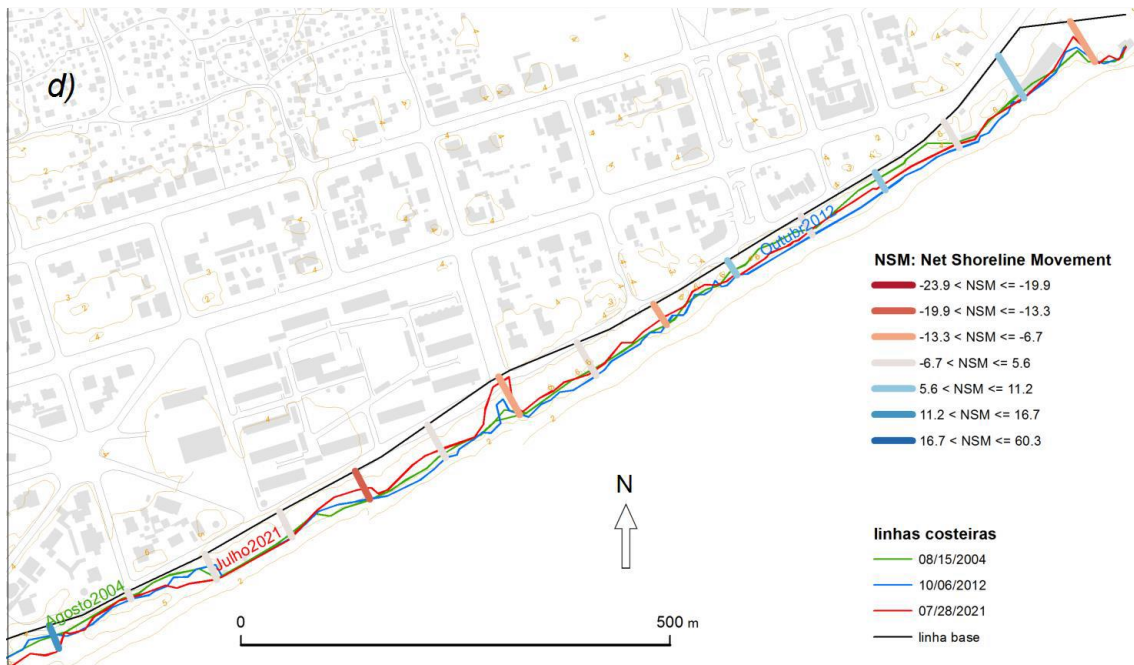
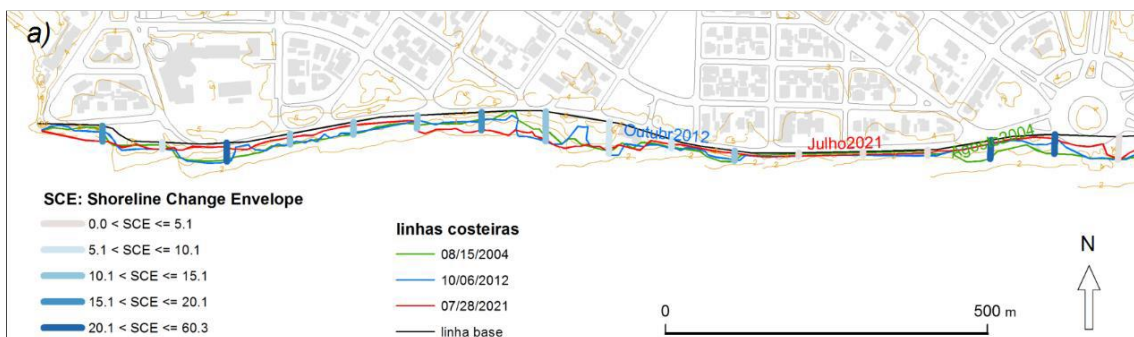
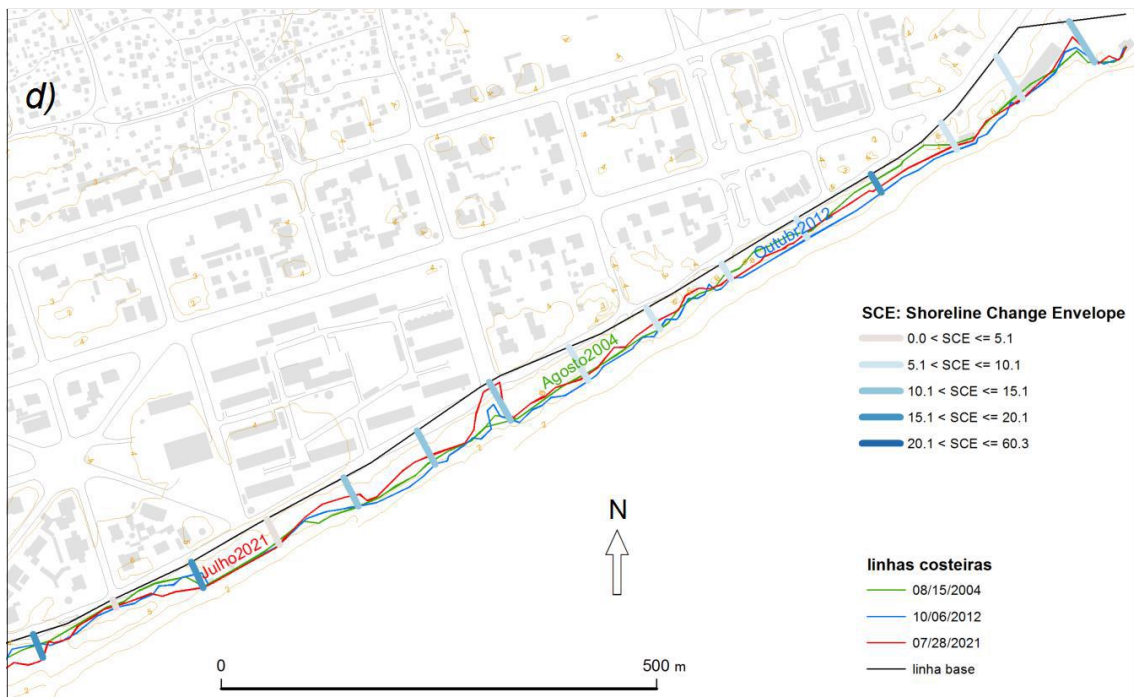
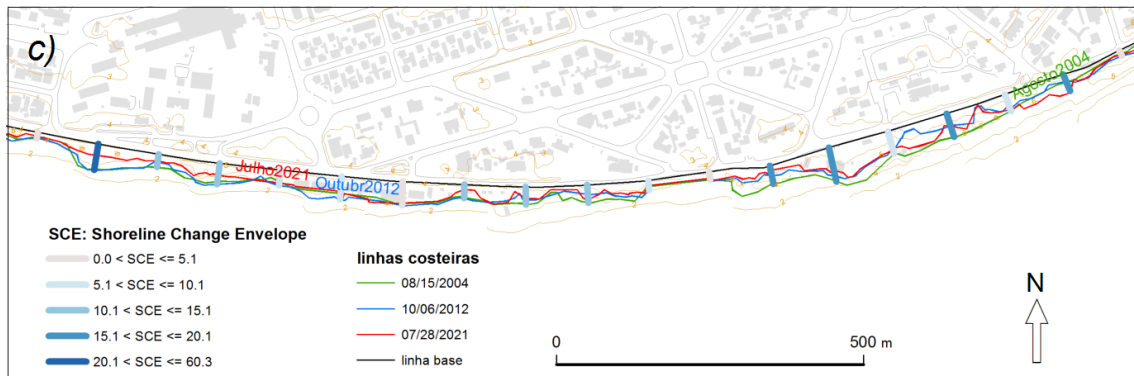
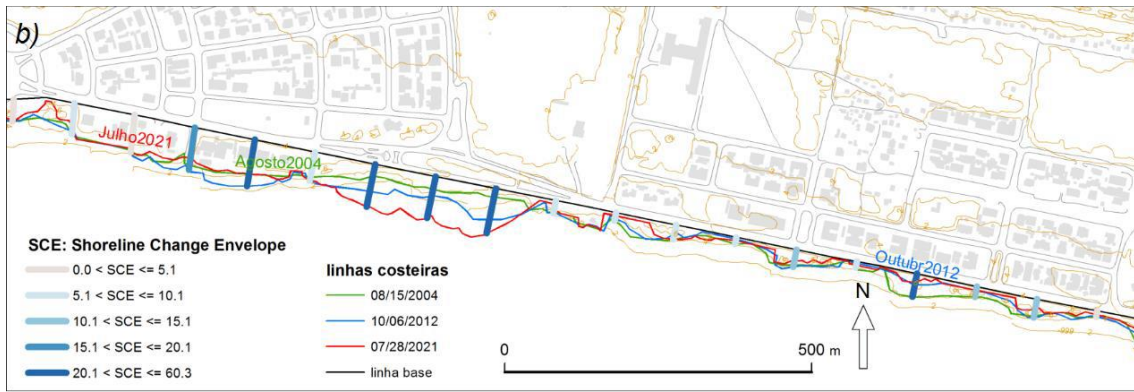


Figura 6- NSM: Net Shoreline Movement, ou deslocação real da linha costeira, para as quatro porções em que a linha de costa da cidade da Beira foi subdividida (*a*, *b*, *c* e *d* de Oeste para Este).





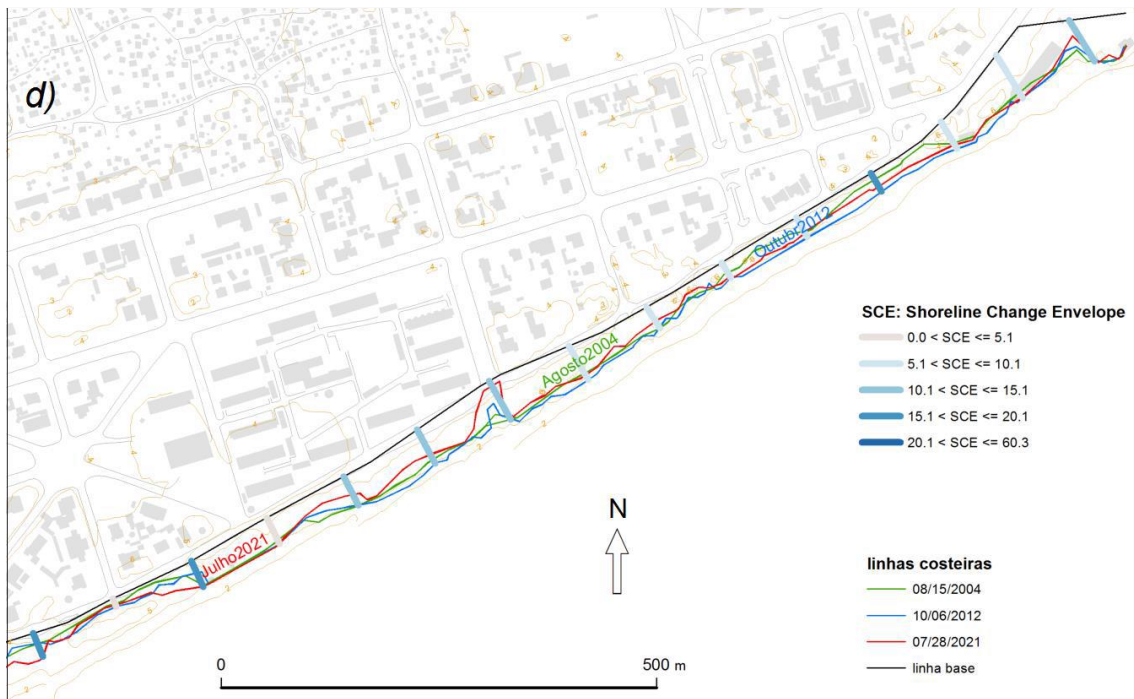
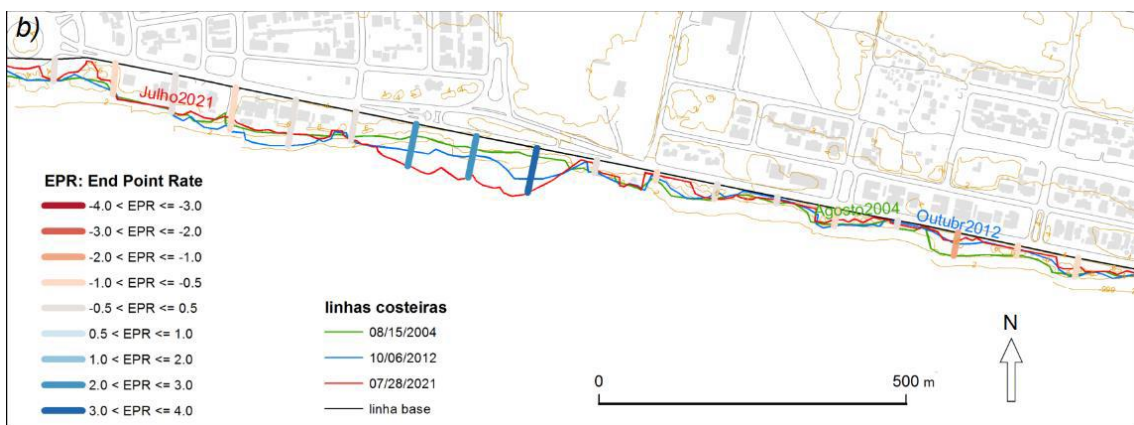
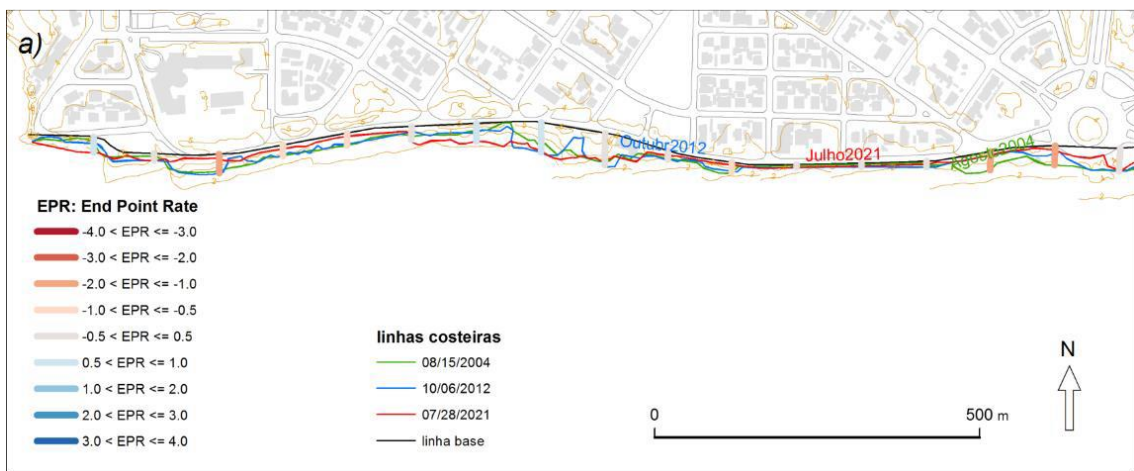


Figura 7- SCE: Shoreline Change Envelope ou envolvente da variação da linha costeira, para as quatro porções em que a linha de costa da cidade da Beira foi subdividida (a, b, c e d de Oeste para Este).



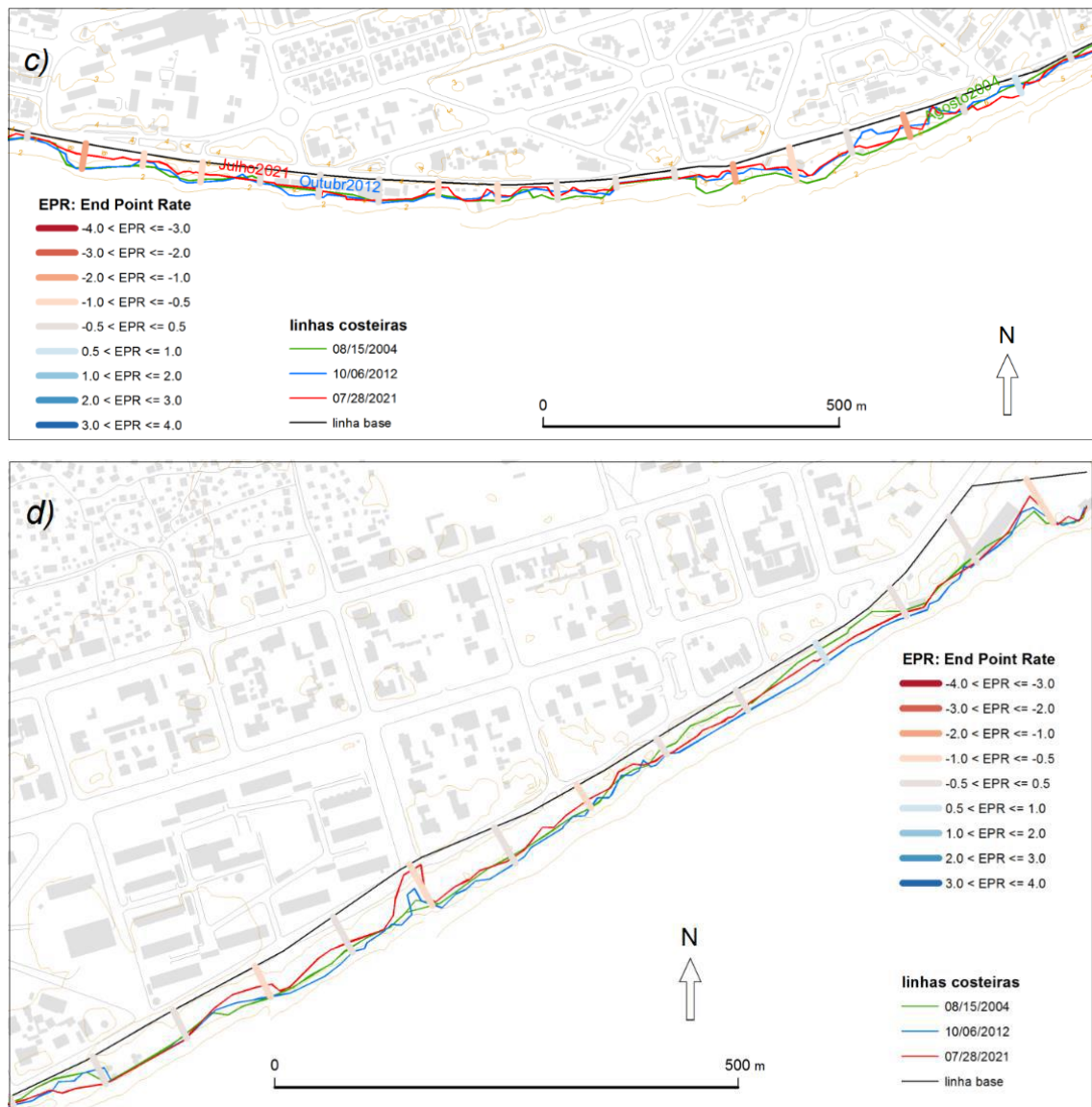
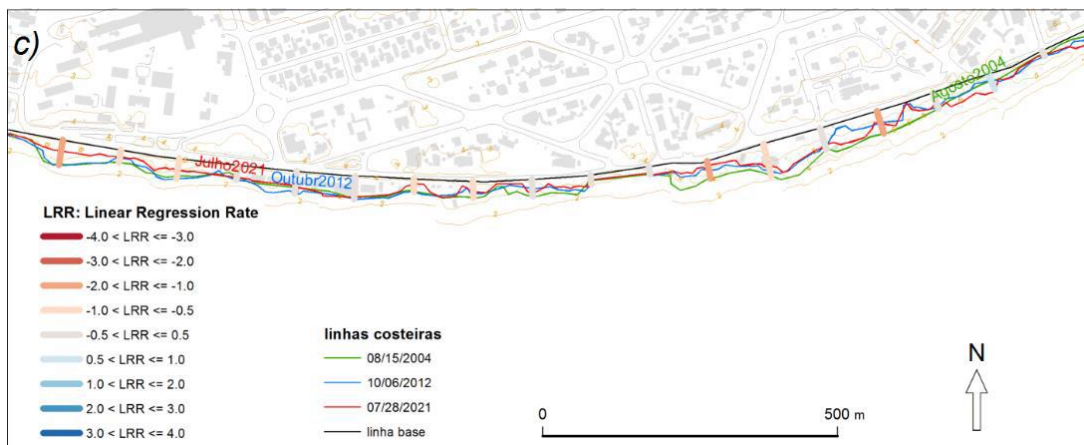
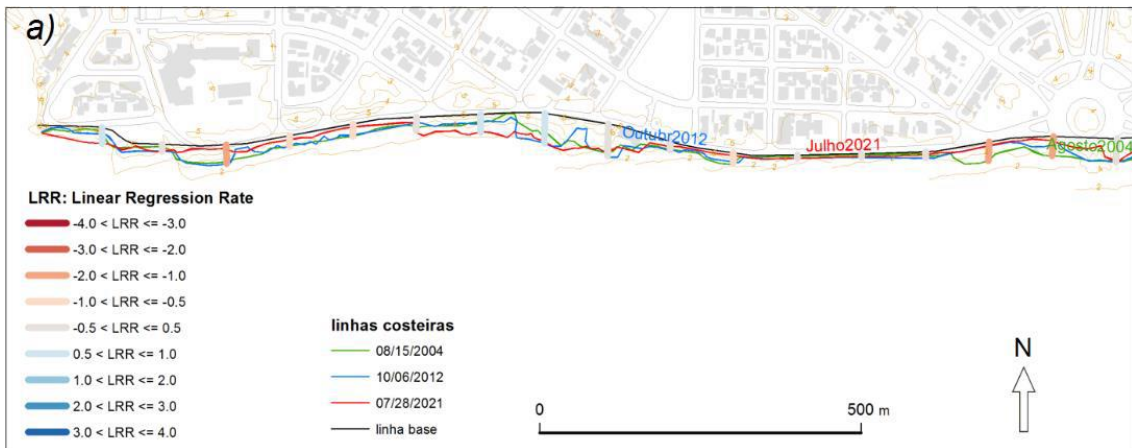


Figura 8- EPR: End Point Rate ou taxa final real, para as quatro porções em que a linha de costa da cidade da Beira foi subdividida (*a*, *b*, *c* e *d* de Oeste para Este).



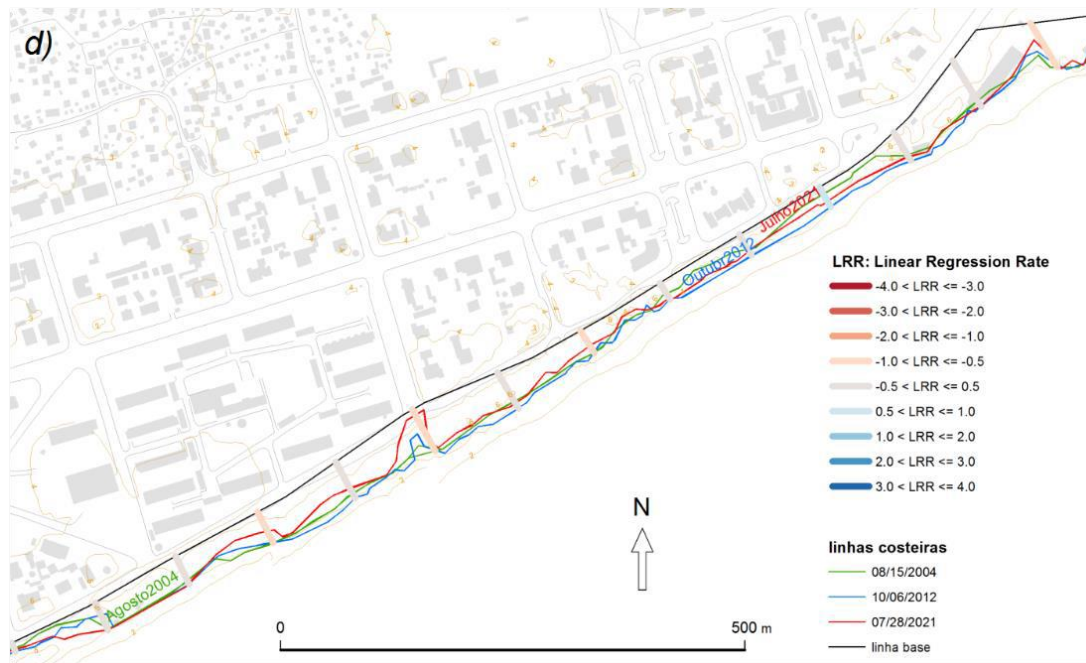


Figura 9- LRR: Linear Regression Rate ou taxa de regressão linear, para as quatro porções em que a linha de costa da cidade da Beira foi subdividida (*a*, *b*, *c* e *d* de Oeste para Este).

Para o NSM (Net Shoreline Movement ou deslocação real da linha de costa) os valores calculados obtidos estão compreendidos entre -23.82 metros e 60.23 metros (Figura 7). Os valores negativos representam um recuo da linha de costa (erosão) enquanto os valores positivos representam um avanço da praia, ou seja, acreção ou acumulação de sedimentos.

Para o SCE (Shoreline Change Envelope ou envolvente da variação da linha de costa) os valores calculados estão compreendidos entre 1.34 e 60.23 metros. O SCE dá informação da quantidade de metros que a linha de costa se deslocou, mas não informa se em direção a terra ou em direção ao mar e por isso os valores são sempre positivos.

Para o EPR (End Point Rate ou taxa final) os valores calculados variam entre -1.41 e 3.55 metros por ano.

Para o LRR (Linear Regression Rate ou taxa de regressão linear) os valores calculados variam entre -1.39 a 3.54, indicando em alguns casos houve erosão e noutros acreção.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar de visualmente parecer não ter havido grande variação da linha costeira no intervalo de tempo de agosto de 2004 a Julho de 2021 (período de 17 anos), após calculados os valores estatísticos do NSM, SCE, EPR e LRR pelo DSAS v.5, torna-se claro que se verificou um recuo generalizado da linha costeira para este período de tempo.

As Figuras 6, 8 e 9 mostram graficamente os valores de NSM, EPR e LRR e nelas é visível uma clara predominância dos tons avermelhados que simbolizam valores negativos (Figura 5) indicando recuo da linha de costa, ou seja, erosão. Só pontualmente existem valores positivos (tons azulados) indicando ter havido deposição de sedimentos, ou seja, acreção e outras em que não houve praticamente deslocamento da linha de costa (tons cinza).

Há claramente locais nos quais o recuo da linha costeira neste período de 17 anos (2004 a 2021) foi na ordem dos 20 metros (entre -23.2 e -19.8m) e que estão localizados junto à rotunda da Praça da Independência, e em diversos locais ao longo da Avenida FPLM com taxas de recuo na ordem dos -1.4 a -1.2 metros por ano. Outros locais junto à Avenida Mateus Sansão Muthemba (nomeadamente na curva próximo da Ponta Gea) e vários ao longo da linha de costa que acompanha a Avenida FPLM, com recuos da linha costeira menos acentuados da ordem dos -10 metros e taxas da ordem dos -0.6 metros por ano.

REFERÊNCIAS

CROWELL, M.; DOUGLAS, B. C.; LEATHERMAN, S. P. **On forecasting future U.S. shoreline positions – A test of algorithms.** Journal of Coastal Research, v. 13, no. 4, p. 1245–1255, 1997.

Digital Shoreline Analysis System (DSAS) (usgs.gov) consulta em 1 de setembro de 2021.

DOLAN, R., FENSTER, M. S.; HOLME, S. J. **Temporal analysis of shoreline recession and accretion.** Journal of Coastal Research, v. 7, p. 723–744, 1991.

GENZ, A. S.; FLETCHER, C. H.; DUNN, R. A.; FRAZER, L. N.; ROONEY, J. J. **The predictive accuracy of shoreline change rate methods and alongshore beach variation on Maui, Hawaii.** Journal of Coastal Research, v. 23, no. 1, p. 87–105, 2007.

HIMMELSTOSS, E. A.; FARRIS, A. S.; HENDERSON, R. E.; KRATZMANN, M. G.; ERGUL; AYHAN; ZHANG; OUYA; ZICHICHI, J. L.; THIELER, E. R. **Digital Shoreline Analysis System (version 5.0).** U.S. Geological Survey software release, <https://code.usgs.gov/cch/dsas>. 2018.