

**RELATÓRIO DE ANÁLISE DE DADOS HISTÓRICOS DA
VARIAÇÃO DA LINHA DE COSTA
PORTO DE IMBITUBA, IMBITUBA-SC**

PREPARADO PARA:



PREPARADO POR:

CB&I



Junho 2017

**ÍNDICE DE REVISÕES**

VER	DESCRIÇÃO E/OU FOLHAS ATINGIDAS
00	ORIGINAL

	VER. 00	VER. 01	VER. 02	VER. 03	VER. 04	VER. 05	VER. 06
DATA	26/06/2017						
PROJETO	5270205						
EXECUÇÃO	MOAM/CTR						
VERIFICAÇÃO	GHG						
APROVAÇÃO	RCB						

AS INFORMAÇÕES DESTE DOCUMENTO SÃO PROPRIEDADE DA CBI MEIO AMBIENTE E INFRAESTRUTURA LTDA., SENDO PROIBIDA A UTILIZAÇÃO FORA DA SUA FINALIDADE.

A IMPRESSÃO OU REPRODUÇÃO DESTE DOCUMENTO TORNA A CÓPIA NÃO CONTROLADA.



SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	5
1.1	ÁREA DE ESTUDO	5
1.1.1.	HISTÓRICO DE INTERVENÇÕES ANTRÓPICAS NO EQUILÍBRIO SEDIMENTAR PRAIAL	7
2	METODOLOGIA	7
3	RESULTADOS	10
4	CONCLUSÕES	20
5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	21



LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Área de estudo – Praia do Porto de Imbituba.....	6
Figura 2. Fluxograma da metodologia aplicada no estudo de evolução da linha de costa da praia do Porto de Imbituba.....	8
Figura 3. Representação esquemática do erro teórico máximo associado à variação de maré na praia do Porto de Imbituba. Fonte: Modificado de Lausman (2006).	9
Figura 4. Área de estudo apresentando a distribuição dos 71 transectos ao longo da praia do porto de Imbituba – SC.	11
Figura 5. Evolução do Porto de Imbituba entre os anos de análise, 1957 a 2016, e demais intervenções antrópicas.	13
Figura 6. Variação da linha de costa da praia do Porto de Imbituba entre os anos 1957 e 2016.	15
Figura 7. Taxa de variação da linha de costa da Praia do Porto de Imbituba entre os anos 1957-1978, 1978-2003, 2003-2010 e 2010-2016.....	18
Figura 8. Taxa de variação da linha de costa da Praia do Porto de Imbituba entre os anos 1957 e 2016.....	19



1 INTRODUÇÃO

Este documento apresenta a metodologia e os resultados da análise da evolução temporal da linha de costa (LC) da Praia do Porto de Imbituba, localizada no município de mesmo nome, Santa Catarina. Esta análise foi realizada através da extração de linhas de costa com base em fotografias aéreas dos anos 1957 e 1978, provenientes da Secretaria do Planejamento do Estado de Santa Catarina, e de imagens de satélite, extraídas a partir do software Google Earth®, para os anos de 2003, 2010 e 2016.

A porção sul da enseada da praia do Porto em Imbituba sofre processo de assoreamento, o que pode comprometer a profundidade estabelecida na cota de dragagem. Assim, tem-se como objetivo principal do estudo a geração de dados como subsídio e suporte para a análise das causas do processo de assoreamento e elaboração de alternativas de solução conceitual de engenharia, a fim de mitigar o processo que ocorre atualmente no local.

1.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de interesse está localizada na região costeira do município de Imbituba, a 90 km da capital estadual Florianópolis, nas latitudes $28^{\circ} 13' 42,38''$ S e longitude $48^{\circ} 39' 12,98''$ W no litoral sul de Santa Catarina (Figura 1).

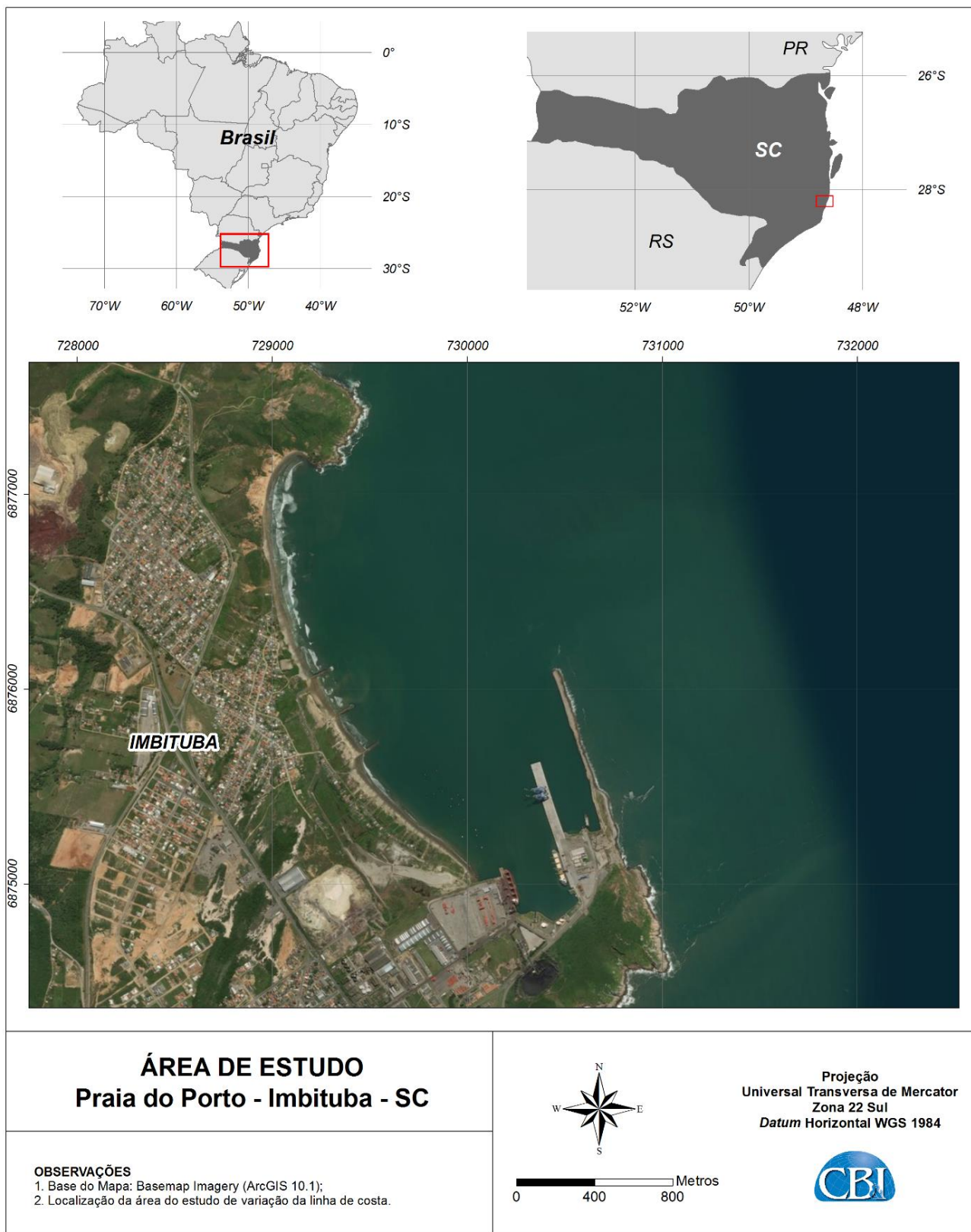


Figura 1. Área de estudo – Praia do Porto de Imbituba.

1.1.1. HISTÓRICO DE INTERVENÇÕES ANTRÓPICAS NO EQUILÍBRIO SEDIMENTAR PRAIAL

Durante o período de análise do estudo, entre os anos de 1957 e 2016, foram construídas algumas estruturas de contenção na porção central da orla, como também na porção ao sul da praia, devido ao desenvolvimento do Porto de Imbituba. A seguir é apresentada a cronologia das intervenções antrópicas realizadas na praia.

- 1919 – 1922 – Construção do Porto de Imbituba;
- 1975 – Construção do primeiro quebra-mar com 550 m;
- 1980 – 1982 – Extensão do quebra-mar para 850 m;
 - Construção dos três espigões na porção central da orla.
- 2010 – Extensão do cais do porto para 410 m;
- 2013 – 2014 – Dragagem do canal de acesso e da bacia de evolução do porto

Segundo Kemper *et al* (2015), uma vez que não foram identificados grandes valores de sedimentação na área de estudo antes destas intervenções antrópicas, concluiu-se que pelo menos uma, ou a combinação entre elas, tem resultado na presente aceleração de sedimentação.

2 METODOLOGIA

A metodologia do presente estudo foi realizada de acordo com a Figura 2.

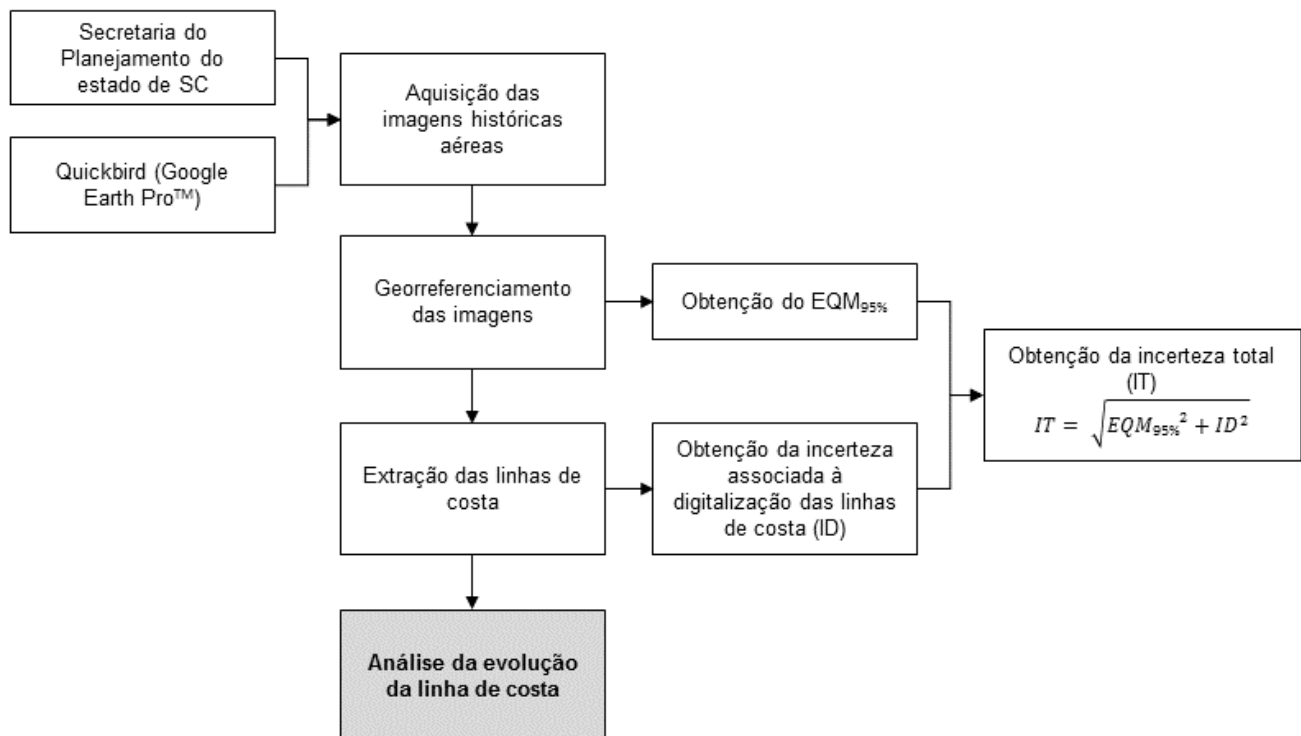


Figura 2. Fluxograma da metodologia aplicada no estudo de evolução da linha de costa da praia do Porto de Imbituba.

As imagens aéreas referentes aos anos de 1957, 1978, 2010 e 2012 foram obtidas através da Secretaria de Planejamento do estado de Santa Catarina. Para os anos de 2003 e 2016 as imagens foram obtidas através do sensor *Quickbird*, disponibilizadas pelo *software* Google Earth Pro™.

As imagens foram georreferenciadas em ambiente SIG, com a utilização do *software* ArcGIS® 10.1. A fim de mensurar imprecisões decorrentes do processo de retificação das imagens, adotou-se neste trabalho o padrão de posicionamento geoespacial de imagens proposto pelo Comitê Norte-Americano de Dados Geográficos (FGDC-STD, 1998). As imagens referentes aos anos 2010 e 2012 foram disponibilizadas já ortoretificadas.

A partir dos ortofotomosaicos e imagens de satélite georreferenciadas, foram extraídas as linhas de costa em formato *shapefile* para todos os anos analisados.

A incerteza associada a cada linha de costa extraída (E1) foi definida a partir de Hapke *et al.* (2006) a qual originalmente apresenta-se de forma sucinta na seguinte equação:

$$E1 = \sqrt{EG^2 + ED^2 + EM^2}$$

onde EG é o erro de georreferenciamento, ED é o erro de digitalização da linha de costa e EM é o erro devido à variação da maré. A equação descreve que a incerteza de cada linha de costa é raiz da soma dos quadrados das fontes de erro individuais inerentes a extração de cada linha de costa.

Uma vez que não há registros de nível de maré para todas as datas analisadas, Lausman (2006) estimou uma variação horizontal da maré a partir da inclinação da praia e do máximo nível da maré. Assim teríamos:

- Média da inclinação da praia do porto de Imbituba: 1,47 m (valor determinado pelo relatório INPH-67/87 de 1987);
- Alcance máximo da maré: 1,50 m (valor obtido através do departamento de engenharia do Porto de Imbituba).

Desta forma, o erro teórico máximo relacionado à variação de maré seria de 70,5 metros (Figura 3).

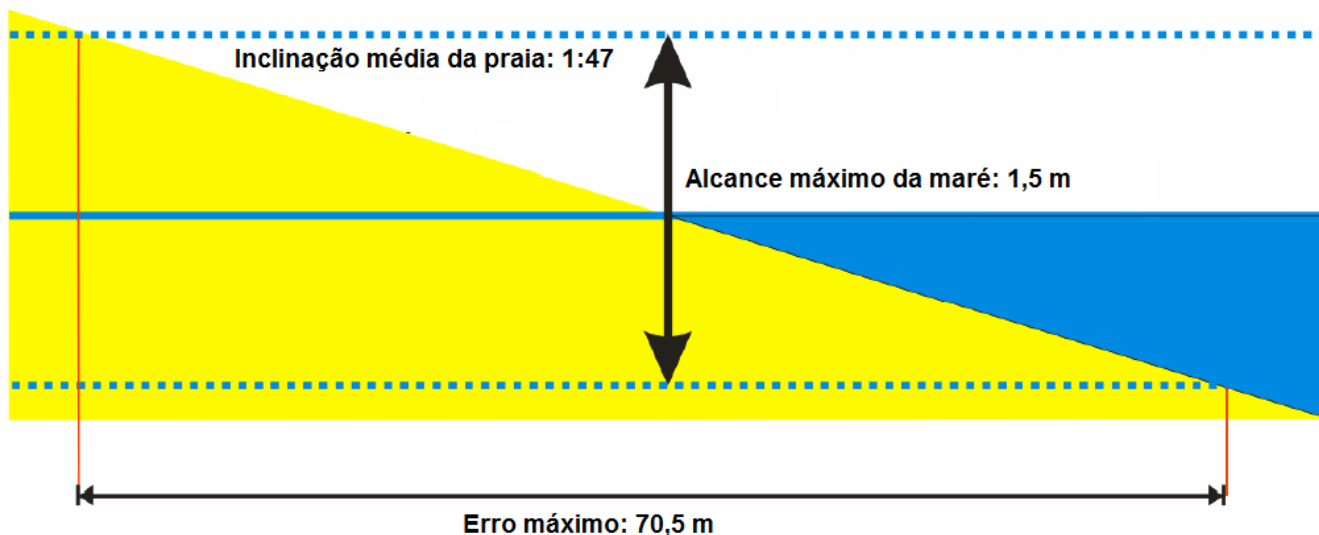


Figura 3. Representação esquemática do erro teórico máximo associado à variação de maré na praia do Porto de Imbituba. Fonte: Modificado de Lausman (2006).

Para o presente trabalho foi utilizado como fontes de incerteza os erros associados ao processo de georreferenciamento e de digitalização das linhas de costa, definida aqui como Incerteza Total (IT) pela equação:

$$IT = \sqrt{EQM_{95\%}^2 + ID^2}$$

Onde: $EQM_{95\%}$ é a incerteza gerada a partir do processo de georreferenciamento, onde multiplica-se o erro quadrático médio, já calculado pelo programa, pela constante 1, 7308, afim de representar o resultado dentro de um intervalo de confiança de 95%; ID é a incerteza gerada através do processo de digitalização da linha de costa. Este valor foi definido comparando a posição das linhas de costa em estruturas fixas, que não variaram no tempo, extraindo a distância entre as linhas mais distantes.

As taxas de deslocamento da linha de costa, foram calculadas com o uso da extensão DSAS 4.3 para ArcGIS® 10.0. O *Digital Shoreline Analysis System* – DSAS é uma extensão que permite automatizar grande parte das tarefas relacionadas à análise quantitativa da evolução das tendências de erosão e deposição, através de uma série estatística de tempo e espaço, no caso, posições múltiplas da linha de costa.

A área de estudo, com cerca de 3 Km de extensão, foi analisada através de transectos transversais à costa, espaçados a cada 50 m, totalizando 71 transectos de análise.

Para análise entre 2 ou mais séries temporais de linhas de costa, empregou-se o método estatístico *Least Median of Squares* (LMS). É um método de regressão estatisticamente robusto e utiliza a mediana para definir a equação da reta, e não sofre tanta influência de *outliers*, embora seja um método mais conservador. No guia do usuário da extensão DSAS (Himmelstoss, 2009), o método LMS é explicado mais detalhadamente.

3 RESULTADOS

Na Figura 4 é apresentada a área de estudo com os transectos transversais à costa (transectos 1 a 71). Estes foram espaçados a cada 50 metros, a princípio. Os transectos que por ventura não cruzaram todas as linhas de costa, devido à presença de canais ou à algum outro fator, foram desconsiderados da análise.

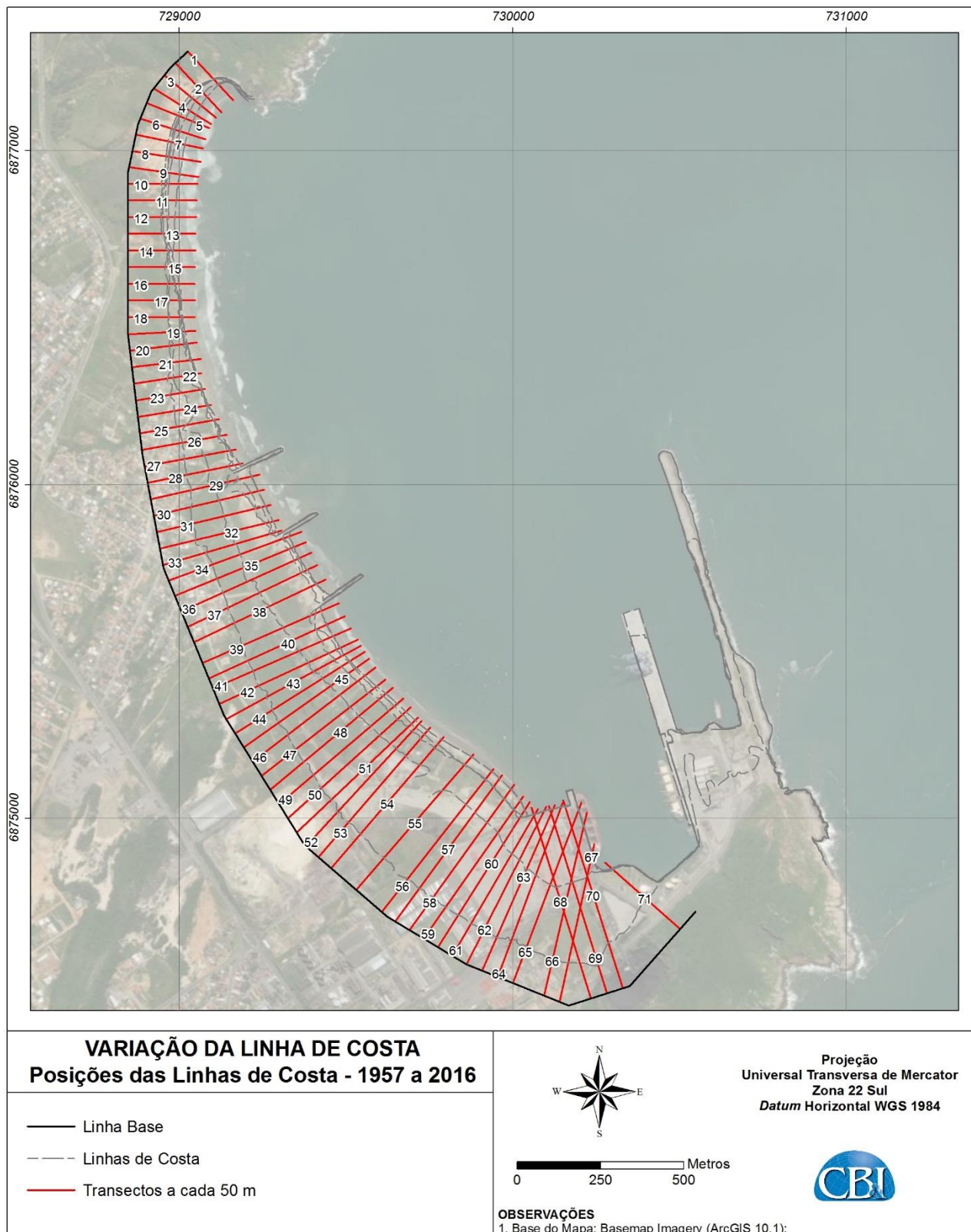


Figura 4. Área de estudo apresentando a distribuição dos 71 transectos ao longo da praia do porto de Imbituba – SC.



A Figura 5 apresenta a evolução do Porto de Imbituba e demais intervenções antrópicas para todos os anos de análise, afim de melhor ilustrar as possíveis influências nas transformações da linha de costa.

O primeiro ano que se tem registro, neste estudo, da linha de costa da Praia do Porto de Imbituba é o ano de 1957. Neste ano a costa já apresentava a instalação do porto, entretanto o molhe que hoje está localizado o berço 1 possuía cerca de 260 metros de extensão. O ano seguinte da análise, 1978, mostra o molhe atual já em desenvolvimento, com a extensão aproximada de 650 metros, e a presença consolidada de um berço de atracação, onde se localiza atualmente o berço 1. Segundo Kemper *et al* (2015) a construção do molhe teve início em 1972, com finalização em 1975. Entre os anos de 1980 e 1982 ocorreu a extensão deste, atingindo 850 metros. Neste mesmo período, três espigões foram constuídos na porção central da enseada, a fim de estabilizar o formato da baía. Desta maneira, na imagem seguinte, do ano de 2003, o molhe se apresenta com o tamanho atual, bem como os espigões citados anteriormente. Adicionalmente, para este mesmo período, nota-se a construção a instalação do atual berço 3. No ano posteiro de análise, 2010, pode-se observar a extensão do cais de atracação, agora com cerca de 650 metros. Entre o ano de 2010 e 2016 este mesmo cais apresenta-se com uma extensão total de 750 metros, aproximadamente.

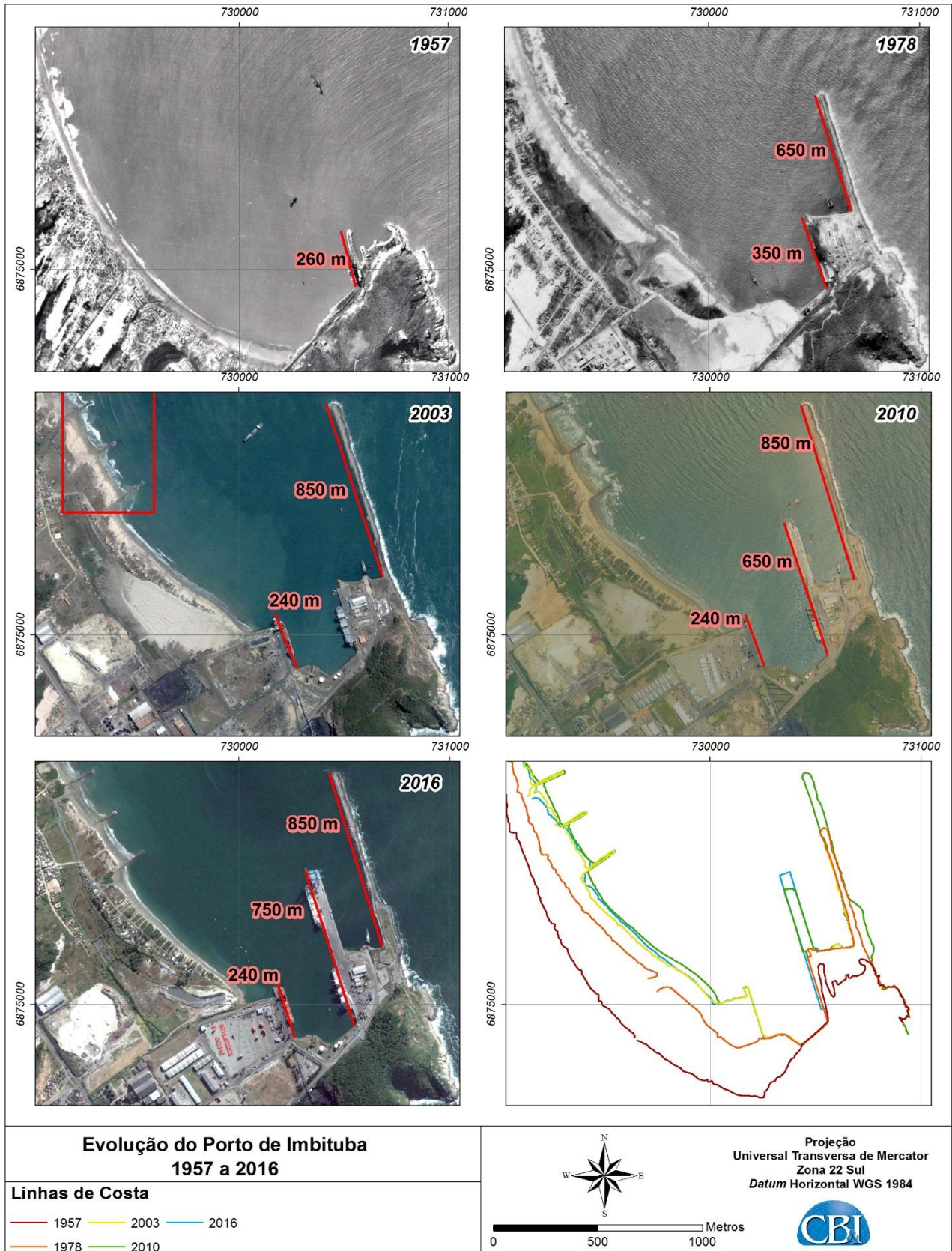


Figura 5. Evolução do Porto de Imbituba entre os anos de análise, 1957 a 2016, e demais intervenções antrópicas.

A fim de analisar as variações espaço-temporais da linha de costa do Porto de Imbituba, foram realizadas análises do deslocamento linear desta, dada em distância em metros, bem como uma análise da taxa de modificação da feição ao longo do tempo, dada em metros por ano.

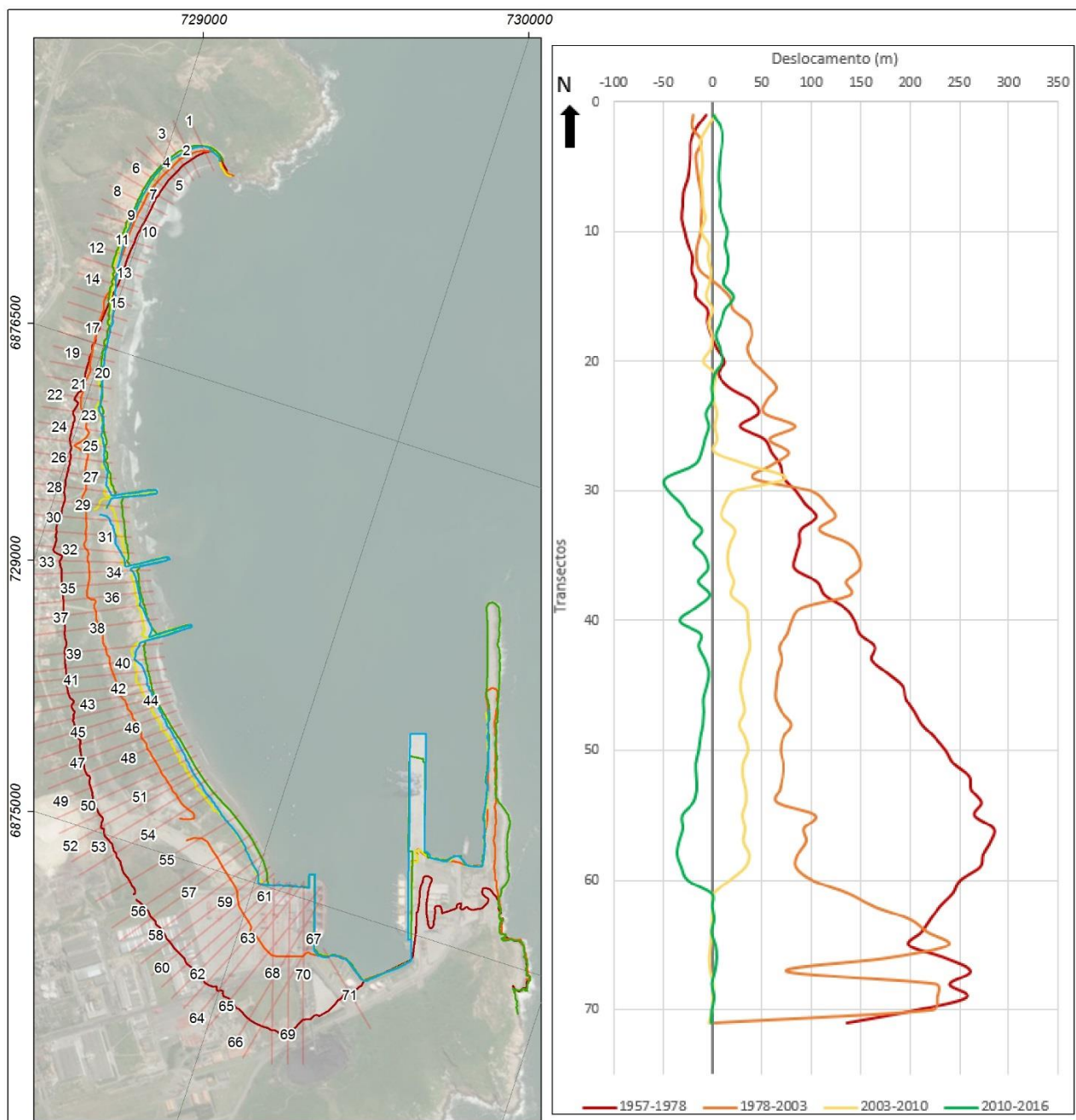
A Figura 6 apresenta a posição das linhas de costa para cada ano analisado, bem como um gráfico de variação desta entre os períodos de 1957-1978, 1978-2003, 2003-2010, 2010-2012 e por fim 2012- 2016.

Desta forma, é possível notar que a maior variação em distância entre as linhas de costa ocorreu no período de 1957 a 1978, caracterizando uma expressiva progradação da linha de costa na porção sul da área da enseada, atingindo cerca de 284 +/- 5,2 m, no transecto 56. Em uma menor escala, na porção norte da enseada, observou-se uma retração da linha de costa, atingindo o valor máximo de 31 +/- 5,2 m no transecto de número 9.

O segundo período de análise, de 1978 a 2003, denotou o mesmo padrão do período anterior, caracterizando uma progradação ao sul da enseada e uma retração ao norte. Entretanto, a progradação foi caracterizada pela estabilização da linha de costa devido às instalações do porto, entre os trasectos 61 e 71, atingindo o valor máximo de 238 +/- 5,1 metros no transecto 65. O valor máximo de retração da linha de costa atingiu cerca de 20 +/- 5,1 m no transecto 2.

O mesmo ocorreu para o período entre 2003 e 2010. A região mais ao sul, do trasecto ao trasecto, 61 ao 71, deixaram de apresentar variações devido á estabilização da LC. Contudo, entre os demais trasectos da área sul, entre os transectos 60 ao 28, a LC foi caracterizada por uma progradação, principalmente na região do transecto 29, atingindo o valor de 74 +/- 4,5 metros, aproximadamente. Ao norte da enseada, a retração atingiu o valor máximo de 12 +/- 4,5 m no transecto 3.

O período entre 2010 e 2016 foi mais estável em comparação com os outros períodos analisados. Diferentemente dos períodos anteriores, a região ao centro-sul da enseada apresentou retração, enquanto que a porção norte exibiu progradação. Esta diferença no padrão do comportamento da orla pode estar associado ao momento em que a imagem aérea foi capturada, registrando possíveis momentos de maré opostos. Os quantitativos com ordens de magnitude diferentes também são resultado da análise de períodos de tempo diferentes entre uma imagem e outra, já que os períodos analisados de 1957 a 1978, 1978 a 2003, 2003 a 2010, 2010 a 2012 e 2012 a 2016 são distantes 21, 25, 7, 2 e 4 anos respectivamente.



Variação da linha de costa da Praia do Porto de Imbituba - 1957 a 2016

Data

1957 2003 2016
1978 2010



Projeção
Universal Transversa de Mercator
Zona 22 Sul
Datum Horizontal WGS 1984

0 300 600 Metros



OBSERVAÇÕES

1. Base do Mapa: Basemap Imagery (ArcGIS 10.1);

Figura 6. Variação da linha de costa da praia do Porto de Imbituba entre os anos 1957 e 2016.

Para a análise das taxas de deslocamento da linha de costa, em metros por ano, foi utilizado o método de cálculo utilizando LMS (*Least Median of Squares*), para os períodos 1957-1978 (21 anos), 1978-2003 (25 anos), 2003-2010 (7 anos) e 2010-2016 (6 anos) (Figura 7), bem como para o período total, entre os anos de 1957 e 2016 (Figura 7).

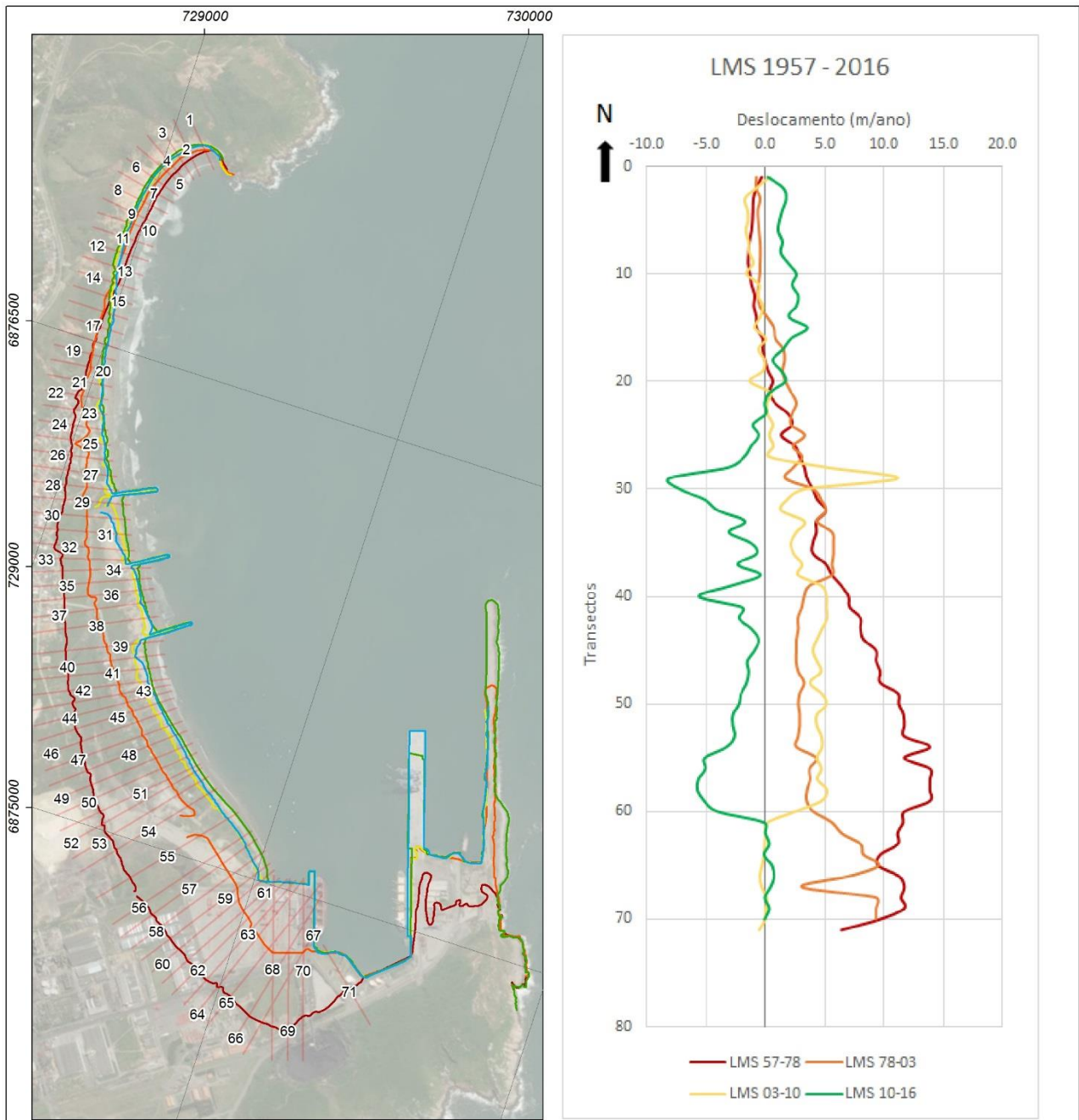
É possível notar que as taxas de deslocamento da linha de costa possuem um padrão similar à variação linear desta mesma feição. Sendo assim, o período que apresentou a maior taxa tanto de progradação quanto de retração da LC foi o primeiro período analisado, entre os anos de 1957 e 1978. Neste ciclo, a LC atingiu seu máximo progradante na porção sul da praia no ano de 1978, com uma taxa de progradação de 14 m/ano. Este mesmo período foi caracterizado pela máxima regressão da LC em sua porção norte, atingindo -1,5 m/ano.

Entre os anos de 1978 e 2003, a porção sul apresentou uma taxa máxima de 10 m/ano de progradação, seguida de um decréscimo desse valor em direção ao norte. A taxa máxima regressiva foi observada ao norte da área de estudo, com o valor de -0,8 m/ano.

Este mesmo padrão pode ser observado no próximo intervalo analisado, entre os anos de 2003 e 2010. Ocorre uma variação nula ao sul da área, devido à estabilização da LC, com um taxa de progradação da LC para 5,2 m/ano na área do transecto 58. A taxa máxima de avanço da linha de costa em direção ao mar registrada ocorreu no transecto 29, com um valor de 11,2 m/ano. A variação nesta região pode ser influenciada devido à uma pequena abertura na linha de costa (sangradouro) somado à efeitos de maré, que demarcam em diferentes posições a feição mapeada. A região norte continua a apresentar, praticamente, uma variação similar em ordem de grandeza dos períodos anteriores analisados, atingindo a taxa máxima regressiva de -1,7 m/ano.

O último período analisado, de 2010 a 2016, apresentou estabilidade na taxa de variação ao sul da enseada, devido a fixação da LC, conforme apontado anteriormente. A partir do transecto 59, onde a LC não é mais fixada, ocorreu um retração da LC, cuja taxa foi de -5,2 m/ano. Esse padrão de retração se manteve até o transecto 24, onde a partir deste a costa começou a apresentar uma progradação. O valor máximo progressivo ocorreu no transecto 15, com o valor de 3,5 m/ano. **Kemper *et al* (2015) atribuem a aceleração significativa do ritmo de sedimentação na porção sul da praia à perturbações no equilíbrio da praia, provavelmente devido a influência das atividades de dragagem. Estes autores apontam que toda a área está importando grandes valores de sedimento, principalmente a área perto do cais, que está fortemente sendo assoreada.**

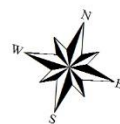
Ao analisarmos o período total, de 1957 a 2016, fica claro o padrão de progradação da linha de costa na região centro e sul da área, e uma retração da porção norte (Figura 8). A maior taxa progradante foi observada nos transectos 68 e 69. Esta região é caracterizada pela mudança do sentido de orientação da baía, bem como uma estabilização da LC pelas instalações portuárias. Ao analisarmos o restante da área de estudo nota-se que as maiores variações estiveram na porção central da baía, entre os trasectos 30 e 40, região esta que estão localizados os espigões. **As variações mais acentuadas iniciaram com o aumento das estruturas rígidas e construções portuárias na porção sul da praia, como a instalação dos molhes e da região do atual berço 3 e sua retro-área. Com base nestas observações,** os resultados não apontam diretamente para as atividades de dragagem conforme apontado pelos autores supra-citados, mas sim para a construção de estruturas que modificaram a estabilidade do arco praiar até que o mesmo encontrasse novo equilíbrio.



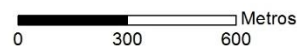
Taxa de variação da linha de costa da Praia do Porto de Imbituba - 1957 a 2016

Data

- 1957 — 2003 — 2016
- 1978 — 2010



Projeção
Universal Transversa de Mercator
Zona 22 Sul
Datum Horizontal WGS 1984



OBSERVAÇÕES

1. Base do Mapa: Basemap Imagery (ArcGIS 10.1);

Figura 7. Taxa de variação da linha de costa da Praia do Porto de Imbituba entre os anos 1957-1978, 1978-2003, 2003-2010 e 2010-2016.

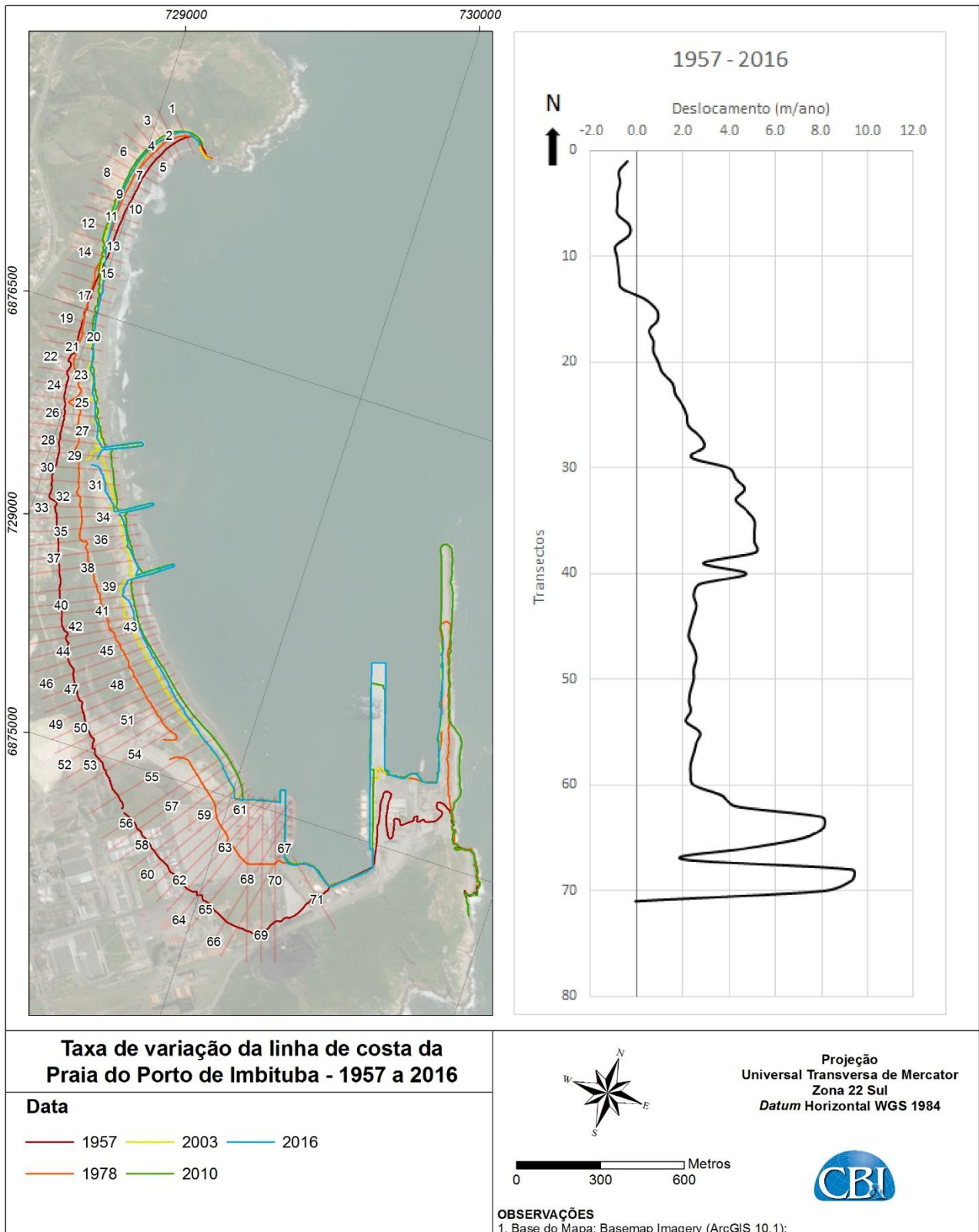


Figura 8. Taxa de variação da linha de costa da Praia do Porto de Imbituba entre os anos 1957 e 2016.

4 CONCLUSÕES

A partir da análise da evolução temporal da linha de costa (LC) da Praia do Porto de Imbituba, localizada no município de mesmo nome, Santa Catarina, foi possível identificar padrões no compartimento da evolução desta orla.

Foram realizadas análises do deslocamento linear da linha de costa, dada em distância em metros, bem como um análise da taxa de modificação da feição ao longo do tempo, dada em metros por ano.

Em ambas as análises nota-se um padrão de rotação praial entre os anos de 1957 e 2003, onde a baía se caracterizou por uma progradação em sua porção sul e uma retração em sua região norte. A partir de 2003, as taxas de progradação e retração da LC se tornam menores. Este fato pode ser justificado pelo menor tempo entre os anos analisados (2003 – 2016), bem como à presença de interações antrópicas, como a extensão do molhe e do berço de atracação 1, da estabilização da costa na região do berço 3 e, por fim, a construção dos espigões na região central da costa.

Apenas a partir do ano de 2010, notou-se uma modificação do padrão de progradação e retração da costa abordado anteriormente. Nesse ultimo período de análise, 2010 a 2016, observou-se leve retração da LC ao sul e leve progradação ao norte. Essa mudança no padrão pode estar relacionada ao pequeno período analisado, além das incertezas do método de análise da linha de costa, já que a variação observada fica próxima ao desvio padrão existente e aos erros pra este período, como exemplo a própria incerteza gerada pelas variações de maré.



5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Federal Geographic Data Committee. FGDC-STD-007.3-1998: Geospatial positioning accuracy standards part 3: national standard for spatial data accuracy. Washington, D.C., 1998.

KEMPER, A.; VAN EKDOM, K.; BEULINK, L.; HENDRIKS, M. **Project Imbituba**. 2015. 60 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Civil Engineering And Geosciences, Hydraulic Engineering, Delft University Of Technology, Delft, 2015. Disponível em: <<https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:aa3dc60b-ad8a-4842-8101-5f94010c6627>>. Acesso em: 21 jun. 2017.

LAUSMAN, R.; KLEIN, A.H.F.; STIVE, M. 2006. Uncertainty on the application of Parabolic Bay Shape Equations: A case study. **J. coast. Res.**

THIELLER, E. R.; MARTIN, D.; ERGUL, A. The Digital Shoreline Analysis System (DSAS), version 4.0. An ArcGIS extension for calculating shoreline change: **U.S. Geological Survey Open-File Report 2008-1278**, 2009.