

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS UNIVERSITÁRIO JOÃO DAVID FERREIRA LIMA
CENTRO DE CIÊNCIAS FÍSICAS E MATEMÁTICAS - CFM
CURSO DE OCEANOGRAFIA

Arnaldo Cechinel Bittencourt

**ANÁLISE DA LINHA DE COSTA DAS PRAIAS ADJACENTES À
DESEMBOCADURA DA BAÍA DA BABITONGA, SANTA CATARINA BRASIL**

Florianópolis
2021

Arnaldo Cechinel Bittencourt

**ANÁLISE DA LINHA DE COSTA DAS PRAIAS ADJACENTES À
DESEMBOCADURA DA BAÍA DA BABITONGA, SANTA CATARINA BRASIL**

Trabalho de Conclusão submetido(a) ao Curso de Graduação
de Oceanografia da Universidade Federal de Santa Catarina
para a obtenção do Grau de Oceanógrafo.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Henrique da Fontoura Klein

Co-orientador: MSc José Maurício Camargo

Florianópolis
2021

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Bittencourt, Arnaldo Cechinel
ANÁLISE DA LINHA DE COSTA DAS PRAIAS ADJACENTES À
DESEMBOCADURA DA BAÍA DA BABITONGA : SANTA CATARINA BRASIL
/ Arnaldo Cechinel Bittencourt ; orientador, Antonio
Henrique da Fontoura Klein, coorientador, João Thadeu de
Menezes, 2021.
58 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências
Físicas e Matemáticas, Graduação em Oceanografia,
Florianópolis, 2021.

Inclui referências.

1. Oceanografia. 2. Linha de costa. 3. Erosão Costeira.
4. Transporte de Sedimentos. 5. Promontórios Rochosos. I.
Klein, Antonio Henrique da Fontoura. II. de Menezes, João
Thadeu. III. Universidade Federal de Santa Catarina.
Graduação em Oceanografia. IV. Título.

Arnaldo Cechinel Bittencourt

**ANÁLISE DA LINHA DE COSTA DAS PRAIAS ADJACENTES À
DESEMBOCADURA DA BAÍA DA BABITONGA, SANTA CATARINA BRASIL**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequada para obtenção do Título de “Oceanógrafo” e aprovada em sua forma final pelo Curso de Graduação em Oceanografia

Florianópolis, Maio de 2021.

Prof. Felipe Pimenta, Dr.
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Prof. Antonio Henrique da Fontoura Klein, Dr.
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina

João Thadeu de Menezes, Dr.
Acquadinamica Ltda

Prof. Pedro de Souza Pereira, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Dedico a Deus e a meu falecido Avó, Lívio Cechinel, que me ensinou a gostar e respeitar o mar e todo o ambiente costeiro.

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente ao meu orientador, Antonio Henrique da Fontoura Klein, pela oportunidade de aprendizado, por toda a confiança depositada, pelos conselhos e lições.

Ao amigo e co-orientador, José Maurício, por todo o incentivo, companheirismo nas saídas de campo, risadas, e por ter me dado esperanças quando mais precisei.

A todos os companheiros do LOC (Laboratório de Oceanografia Costeira); em especial ao meu amigo, Mateus Martins, por repassar seu conhecimento com a metodologia de trabalho; ao Arthur de O. Hernandez, por me ajudar com o MatLab na confecção dos mapas; ao Wilson Galvão pelo companheirismo; a todas as meninas que fazem parte do grupo pela simpatia e por ter deixado o ambiente de trabalho tão amistoso, florido e harmonioso; Charlene, Ana Paula, Maiara.

A professora Carla Bonetti e ao professor Jarbas Bonetti pelos conselhos, e momentos de confraternização.

Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pela bolsa de iniciação científica.

A Deus, por toda a diversidade e beleza de sua criação, e a presença do anjo da guarda sempre ao meu lado.

“All have their worth and each contributes to the worth of the others.”

(J.R.R. Tolkien)

RESUMO

Erosão costeira no litoral norte do estado de Santa Catarina é um problema crônico. A análise da linha de costa pode ser uma poderosa ferramenta para entender os padrões de mudanças desta, encontrar os pontos críticos de retração ou avanço, ou até mesmo calcular o transporte de sedimentos no intuito de validar modelos numéricos. Com base nos dados históricos de 59 anos, 1957 a 2016, as mudanças na linha de costa das praias no entorno do porto de São Francisco do Sul foram analisadas utilizando a extensão do ArcView, intitulada DSAS (Digital Shoreline Analysis System). As taxas de variação entre os setores foram calculadas pelo método estatístico de regressão linear (LRR). Os resultados mostram que as zonas de avanço e/ou retração acentuadas (pontos críticos) coincidem com o extremo dos setores de praia adjacentes aos promontórios e com as desembocaduras de rios e lagoas costeiras. Pode-se observar claramente a tendência geral do transporte de sedimentos no sentido norte, e concluir que 1978 foi um "divisor de águas" entre um período deposicional, seguido por um erosivo, especialmente nos setores adjacentes ao canal do porto.

Palavras-chave: Linha de costa; Erosão Costeira; Transporte de Sedimentos; Promontórios Rochosos.

ABSTRACT

Beach erosion in the northern Santa Catarina coast is a chronic problem. Shoreline analysis can be a powerful tool to understand the patterns of changes, finding hotspots of erosion/accretion, or even to calculate sediment transport in order to validate numerical models. Based on the 59-year historical data from 1957-2016, the shoreline change in the beaches surrounding the São Francisco do Sul Harbour entrance channel was analyzed using the ArcView extension entitled DSAS (Digital Shoreline Analysis System). The rate of changes between Sectors was calculated by Linear Regression (LRR) statistical method. The computational results show that the critical spots of accretion/erosion coincide with the far end of the beach sectors adjacent to the headlands and with river mouths. We can clearly observe the general northern sediment transport trend, and conclude that 1978 was a "watershed" between a depositional period followed by an erosive, especially in the sectors adjacent to the harbour channel. DSAS shows it's a powerful tool for coastal management purposes but its use on the calibration of mathematical sediment transport models requires careful attention to all inputs and outputs of the system.

Keywords: Shoreline. Coastal Erosion. Sediment. Transport. Headland bypass.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da área de estudo.	16
Figura 2 - Fluxograma da metodologia empregada.....	21
Figura 3 - Exemplo de um transecto construído com a ferramenta DSAS, a intersecção de diferentes linhas de costa e suas respectivas distâncias até a linha base.	26
Figura 4 - Variações na linha de costa entre 1957 e 1978.....	31
Figura 5 - Variações na linha de costa entre 1978 e 2010.....	32
Figura 6 - Variações na linha de costa entre 2010 e 2011.....	34
Figura 7 - Variações na linha de costa entre 2011 e 2014.....	35
Figura 8 - Variações na linha de costa entre 2014 e 2016.....	36
Figura 9 - Valor médio da variação da linha de costa entre os períodos analisados 1957-1978, 1978-2010, 2010-2011, 2011-2014, 2014-2016; e a taxa de regressão linear, para o Setor Praia Grande e seus subsetores.....	37
Figura 10 - Valor médio da variação da linha de costa entre os períodos analisados 1957-1978, 1978-2010, 2010-2011, 2011-2014, 2014-2016; e a taxa de regressão linear, para o Setor Prainha.....	38
Figura 11 - Valor médio da variação da linha de costa entre os períodos analisados 1978-2010, 2010-2011, 2011-2014, 2014-2016; e a taxa de regressão linear, para o Setor Pier.	38
Figura 12 - Valor médio da variação da linha de costa entre os períodos analisados 1957-1978, 1978-2010, 2010-2011, 2011-2014, 2014-2016; e a taxa de regressão linear, para o Setor Praia da Enseada e Praia de Ubatuba.	39
Figura 13 - Valor médio da variação da linha de costa entre os períodos analisados 1957-1978, 1978-2010, 2010-2011, 2011-2014, 2014-2016; e a taxa de regressão linear, para o Setor Praia de Itaguaçu.....	40
Figura 14 - Valor médio da variação da linha de costa entre os períodos analisados 1957-1978, 1978-2010, 2010-2011, 2011-2014, 2014-2016; e a taxa de regressão linear, para o Setor Pontal do Capri/Praia do Forte.....	41
Figura 15 - Valor médio da variação da linha de costa entre os períodos analisados 1957-1978, 1978-2010, 2010-2011, 2011-2014, 2014-2016; e a taxa de regressão linear, para o Setor Praia de Itapoá e seus subsetores.	43
Figura 16 - LCs, linha base e transectos gerados pelo DSAS no Seor da Praia Grande; subsetor Centro.....	51

Figura 17 - LCs, linha base e transectos gerados pelo DSAS no Setor da Praia Grande; subsetor Centro-norte.	52
Figura 18 - LCs, linha base e transectos gerados pelo DSAS no Setor da Praia Grande; subsetor Norte.....	53
Figura 19 - LCs, linha base e transectos gerados pelo DSAS nos Setores da Prainha e Pier...	54
Figura 20 - LCs, linha base e transectos gerados pelo DSAS nos Setores da Praia da Enseada/Ubatuba e Praia de Itaguaçu.....	55
Figura 22 - LCs, linha base e transectos gerados pelo DSAS no Setor da Praia de Itapoá, subsetor Centro-Sul	57
Figura 23 - LCs, linha base e transectos gerados pelo DSAS no Setor da Praia de Itapoá, subsetor Norte	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Característica de cada sistema praial.....	18
Tabela 2 - Valores médios de altura de onda (H_b) e ângulo de incidência (α) na arrebentação para incidência de ondas de média e máxima energia.....	19
Tabela 3 - Fotografias aéreas verticais disponíveis para a área de estudo do projeto.....	22
Tabela 4 - Fotografias aéreas verticais disponíveis para a área de estudo do projeto.....	24
Tabela 5 - Erro quadrático médio do georreferenciamento das imagens para cada Setor.....	25
Tabela 6 - Resumo geral da tendência por Setor, valores em metros.....	29
Tabela 7 - Média das variações das LCs de cada setor por período.....	50

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas
APM - Anticiclones Polares Migratórios
APSFS - Administração do Porto de São Francisco do Sul
ATAS - Anticiclones Tropicais do Atlântico Sul
DSAS - Digital Shoreline Analysis System
EQM - Erro Quadrático Médio
FGDC-STD - Federal Geographic Data Committee Standard
GIS - Geographic Information System
GPS - Global Positioning System
QGIS - Quantum Geographic Information System
Hb - Breaking Wave Height
HWL - High Water Line
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
LC - Linha de Costa
LLR - Linear regression Rate
RTK - Real-time Kinematic
SC - Santa Catarina
SPG - Secretaria de Estado do Planejamento de Santa Catarina
SDS - Secretaria de Desenvolvimento Sustentável de Florianópolis
GE - Google Earth
WGS - World Geodetic System
UTM - Universal Transverse Mercator

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
1.1	OBJETIVOS	15
1.1.1	Objetivo geral	15
1.1.2	Objetivos específicos	15
2	ÁREA DE ESTUDO	16
2.1	GEOLOGIA.....	17
2.1.1	Sedimentologia das praias	17
2.2	CLIMA DE ONDAS.....	18
2.3	REGIME DE MARÉS	19
3	METODOLOGIA.....	21
3.1	AQUISIÇÃO DAS IMAGENS E GEOREFERENCIAMENTO.....	22
3.1.1	Resolução	23
3.1.2	Georeferenciamento	24
3.2	EXTRAÇÃO DA LINHA DE COSTA.....	25
3.2.1	High Water Line	26
3.3	TAXA DE VARIAÇÃO DA LINHA DE COSTA.....	26
3.3.1	Análise Estatística	27
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	28
4.1	Evolução da Linha de Costa.....	28
4.1.1	Praia Grande	36
4.1.2	Prainha	37
4.1.3	Pier.....	38
4.1.4	Praia da Enseada e Praia de Ubatuba	39
4.1.5	Praia de Itaguaçu	39
4.1.6	Pontal do Capri e Praia do Forte.....	40
4.1.7	Praia de Itapoá	41
5	CONCLUSÃO.....	44
	REFERÊNCIAS	47
	APÊNDICE.....	50

1 INTRODUÇÃO

Aproximadamente 25% da população brasileira (42 milhões de pessoas) estão concentrados em 400 municípios localizados na zona costeira, os quais apresentam uma densidade populacional média de 90 hab/km², quase cinco vezes maior que a média nacional (19 hab/km²) (SERAFIM; HAZIN, 2005). Nas últimas três décadas o litoral centro-norte de Santa Catarina vem acompanhando um intenso e acelerado processo de desenvolvimento urbano, a maior parte dos municípios deste segmento litorâneo encontra-se em estágio avançado de urbanização, estando envolvidos em problemas ambientais decorrentes da inexistência de políticas de planejamento regional e urbano (KLEIN et al., 2006).

A zona costeira é altamente dinâmica, onde mudanças ocorrem em diferentes escalas temporais e espaciais. Ao longo de qualquer trecho costeiro arenoso, mudanças na posição do litoral (retração ou avanço) são esperadas e ocorrem em resposta a variações no nível do mar, no suprimento de sedimento e nas condições hidrodinâmicas (LIRA et al., 2016). A urbanização e o desenvolvimento econômico dessas áreas está intimamente ligado ao uso do solo, e o entendimento sobre os processos que regem o transporte de sedimento litorâneo é uma ferramenta essencial para definir políticas de gerenciamento costeiro e os riscos relacionados a erosão (CAMFIELD; MORANG, 1996). O conhecimento das taxas de transporte de sedimentos em uma determinada área, em geral, está restrito à praias retilíneas, pois, praias de enseadas, por muito tempo foram consideradas como sistemas fechados (HSU; EVANS, 1989). Estudos mais recentes evidenciam o processo de transposição de sedimentos entre praias e através dos promontórios (*headland by-passing*) (SHORT; MASSELINK, 1999; VIEIRA DA SILVA, et al., 2016, 2018; KLEIN et al., 2010; BASTOS et al., 2012; AB RAZAK, 2015; GEORGE et al., 2015).

Ab Razak (2015) simulou através de modelagem numérica o transporte de sedimento através de promontórios, natural e artificialmente, em curto e longo período, obtendo resultados satisfatórios. Vieira da Silva (2016) utilizando imagens aéreas e levantamentos topográficos RTK-GPS em conjunto com dados batimétricos concluiu que o transporte de sedimento através dos promontórios ocorre na costa norte da Ilha de Santa Catarina, e ele é no sentido anti-horário.

George et al. (2015) classificou os diferentes tipos de promontórios da costa da Califórnia afim de compreender melhor a dinâmica de transporte e os limites das células litorâneas. Ramli et al. (2015) utilizou modelos numéricos para avaliar as mudanças geomorfológicas após as dragagens do canal de vazante do porto de Tauranga, Nova

Zelândia. Trabalho similar à aquele executado por Silveira et al. (2012) no canal de vazante do porto de São Francisco do Sul, Santa Catarina, a área escolhida para o nosso estudo.

Análises da evolução da linha de costa podem ser um indicador útil do balanço de volume de sedimento, por ser um dado relativamente fácil e rápido de se obter, além de englobar grandes distâncias (FARRIS; LIST, 2007). Diversos trabalhos na literatura têm utilizado essa técnica (CROWELL et al., 1993; CAMFIELD; MORANG, 1996; FARRIS; LIST, 2007; MARANHÃO, 2011; PORPILHO, 2012; ARAUJO et al., 2013; KLEIN et al., 2015; LIRA et al., 2016; SILVA, DA et al., 2016; ARMENIO et al., 2017).

Modelos numéricos e sua capacidade de previsão estão intimamente ligados a calibração do modelo. Dados de linhas de costa pretéritas extraídas de imagens aéreas e de satélite são comumente utilizadas para calibração de modelos de taxas transporte de sedimento (CROWELL et al., 1993; AB RAZAK, 2015; KLEIN et al., 2015; SUTIKNO et al., 2015; LIRA et al., 2016; SILVA, DA et al., 2016).

Todavia, a natureza das mudanças da linha de costa, a magnitude desigual entre diferentes pontos e a alta dinâmica dos ambientes costeiros, tornam essa análise bastante complexa com diversos componentes (diários, sazonais, decadais, seculares e milenares) (CAMFIELD; MORANG, 1996).

O sistema costeiro do estado de Santa Catarina por sua vez apresenta uma geomorfologia peculiar (HORN FILHO, 2003), e pode ser dividida em segmentos distintos (KLEIN et al., 2010). Devido a essas heterogeneidades se faz necessário uma abordagem regional na classificação dos diferentes tipos de promontórios para avançarmos na compreensão da dinâmica de transporte de sedimentos através deles e na definição das fronteiras de transporte como subsídio para políticas de gestão costeira.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo deste trabalho é compreender, através da análise da variação da linha de costa, o balanço sedimentar entre as praias adjacentes ao canal de entrada do porto de São Francisco do Sul, SC.

1.1.2 Objetivos específicos

- Calcular o valor médio da variação da linha de costa em cada setor das praias adjacentes ao canal do porto;
- Definir os pontos da costa mais suscetíveis a retração ou avanço;
- Propor um modelo conceitual de transporte de sedimento através do cálculo do balanço sedimentar.

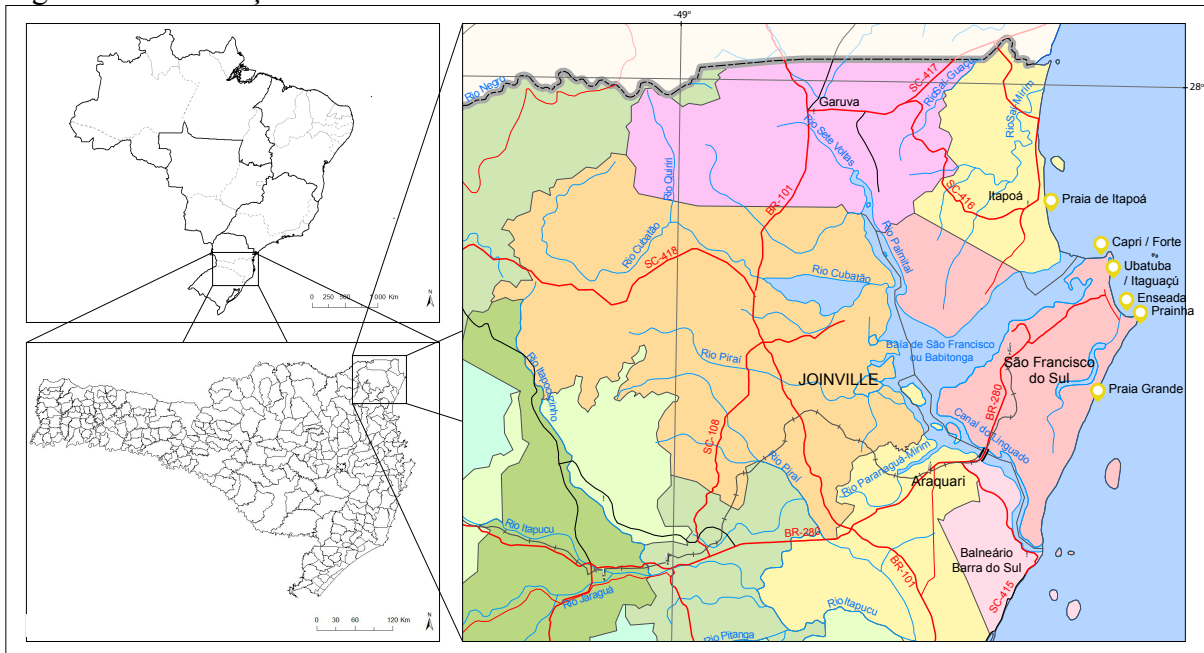
2 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo abrange as praias adjacentes ao canal de entrada do porto de São Francisco do Sul. O porto de São Francisco do Sul é o segundo porto do Brasil em carga geral não containerizada e o maior porto de Santa Catarina (APSFS, 2017). Está localizado na margem sul da baía da Babitonga, município de São Francisco do Sul, que é a fronteira natural do município de Itapoá, extremo norte do estado. Mais recentemente foi construído um segundo porto na margem norte da baía, o porto de Itapoá, que passou a operar em 2011.

A baía da Babitonga está situada na foz do rio Palmital, possui aproximadamente 153,7 km² e é cercada pelos municípios de Araquari, Balneário Barra do Sul, Garuva, Joinville, Itapoá e São Francisco do Sul. O canal do Palmital pode ser caracterizado como um ambiente exportador de sedimentos para o interior da Baía da Babitonga (SCHETTINI; CARVALHO, 1999).

As praias adjacentes ao porto, objeto desse estudo, no sentido sul norte, são: Praia Grande, Praia da Saudade ou "Prainha", Praia da Enseada, Praia de Ubatuba, Praia de Itaguaçu, Praia do Forte e Pontal do Capri em São Francisco do Sul; e Praia de Itapoá em Itapoá.

Figura 1 - Localização da área de estudo.



2.1 GEOLOGIA

Segundo Tessler & Goya (2005) essa região faz parte do compartimento "Litoral Sudeste" caracterizado pela presença da Serra do Mar, constituída por rochas do Embasamento Cristalino que afloram continuamente com alinhamento aproximadamente paralelo à linha de costa.

Segundo Klein et al (2010) a sedimentação intensiva da costa do litoral catarinense resultou na progradação e endireitamento da costa, as Regiões deposicionais representam períodos de abundante oferta de sedimentos e / ou queda no nível do mar.

A maior ou menor distância entre a Serra do Mar e a linha de costa faz com que haja uma grande diversidade de paisagens neste segmento litorâneo, com desenvolvimento de extensas planícies costeiras, como Klein et al (2010) caracterizou o setor norte do litoral catarinense.

A planície costeira é constituída principalmente por terraços marinhos do Pleistoceno Superior e Holoceno, planícies paleoestuarinas do Holoceno e manguezais, dunas e praias atuais (SOUZA et al., 2001).

2.1.1 Sedimentologia das praias

Segundo Klein et al (2016) a costa do setor norte do estado é classificadas como Baías rochosas dominadas por ondas de sudeste. A região é caracterizada por seções rochosas que separam praias, enseadas e estuários. As praias variam de regressivo em baías protegidas a transgressivo com extensas dunas em áreas expostas, com transporte de areia no sentido norte; circundando, "headland bypassing", ou atravessando os promotórios rochosos, "overpassing".

De acordo com Abreu (2011) as praias situadas no setor norte da ilha de São Francisco do Sul podem ser consideradas como semiexpostas e incluem as praias de Enseada, Ubatuba e Itaguaçu. De acordo com o mesmo autor, essas praias integram o domínio granulométrico de areia fina, com menor grau de exposição em virtude de obstáculos como os costões rochosos e o arquipélago da ilha da Paz, que minimizam a incidência das ondulações de maior intensidade, provenientes de sudeste. As praias com maior grau de exposição, Praia Grande e Praia da Saudade, são ambas voltadas para leste-sudeste e submetidas à ação direta das ondulações de maior intensidade, incidentes de quadrante sul e de leste.

Com relação aos aspectos granulométricos da praia de Itaguaçu, os valores apontaram um aumento do tamanho médio dos sedimentos de sul para norte, passando de 2,01 a 2,33 ϕ , o que pode ser relacionado com a constante presença de correntes de retorno, que ocasionam o carreamento dos sedimentos mais finos (VIEIRA, 2015).

A praia de Itapoá é constituída também por areia fina, com diâmetro médio de 2,43 ϕ ($\pm 0,46$), relativamente estreita, não ultrapassando os 100 m de largura, e com inclinação em torno de 2,5°. Na parte sul, próximo e dentro da baía a inclinação da praia alcança 6,51°, associada com um aumento da granulometria (SOUZA, 1999).

Tabela 1 - Característica de cada sistema praial.

SETOR	Tipo	Orientação	Extensão	Granulometria	Tamanho médio do grão (Mz)
Praia					
Grande	exposta	NNE/SSW	25km	média	1,31 ϕ ($\pm 0,46$)
Prainha	exposta	NNE/SSW	400m	média/fina	2,17 ϕ ($\pm 0,40$)
Enseada / Ubatuba	semi-exposta	NNW/SSE	4,6km	fina	2,36 ϕ ($\pm 0,38$)
Itaguaçu	semi-exposta	N/S	2km	fina	2,24 ϕ ($\pm 0,44$)
Capri / Forte	semi-exposta	E/W	7km	fina	3,09 ϕ
Itapoá	semi-exposta	N/S	16km	fina	2,43 ϕ ($\pm 0,46$)

Fonte: Adaptado de Abreu (2011), Souza (1999) e Costa (2016).

2.2 CLIMA DE ONDAS

O clima de ondas no litoral sul brasileiro é regido por dois sistemas atmosféricos, Anticiclones Tropicais do Atlântico Sul (ATAS), centros de alta pressão responsável pela origem dos ventos alísios; e Anticiclones Polares Migratórios (APM), centros de alta pressão responsáveis pela passagem dos sistemas frontais (TESSLER; GOYA, 2005).

Na costa sul e sudeste brasileira, entre Chuí (RS) e Cabo Frio (RJ), as ondas que atingem a costa são forçadas pelos ventos alísios em boa parte do ano (ondas de NE). Porém, para este setor do litoral, as ondas incidentes com maior capacidade de transporte sedimentar costeiro são as associadas aos sistemas frontais. Estas ondas incidentes dos quadrantes sul e sudeste apresentam em média um período de 10 a 16 segundos e uma altura de 1 a 4 metros (TESSLER; GOYA, 2005).

Abreu (2011) por meio de simulações de propagação de ondas obteve para a região valores de altura de onda na arrebentação para três cenários de ondulação conforme indicado na Tabela 2.

Tabela 2 - Valores médios de altura de onda (Hb) e ângulo de incidência (α) na arrebentação para incidência de ondas de média e máxima energia.

PRAIA	Hb (m)	α (°)	Hb (m)	α (°)
Cenário 1 - Ondas de sudeste SE	<i>Média</i>		<i>Máxima</i>	
<i>altura em água profunda - período</i>	1,5 m - 10s		3,0 m - 15s	
Grande	2,25	-41,49	4,21	-45,84
Prainha	2,16	-35,04	4,68	-35,52
Enseada/Ubatuba	1,63	-35,33	3,73	-36,96
Itaguaçu	1,71	-30,57	3,37	-29,52
Cenário 2 - Ondas de leste E	<i>Média</i>		<i>Máxima</i>	
<i>altura em água profunda - período</i>	1,0 m - 8s		1,5 m - 10s	
<i>Grande</i>	1,44	-4,7	2,18	-4,99
Prainha	1,29	3,74	1,53	3,86
Enseada/Ubatuba	1,84	2,51	2,58	0,95
Itaguaçu	0,96	1,91	1,24	2,35
Cenário 3 - Ondas de leste-nordeste E-NE	<i>Média</i>			
<i>altura em água profunda - período</i>	1,0 m - 6s			
Grande	1,43	23,04		
Prainha	1,19	29,64		
Enseada/Ubatuba	1,44	31,91		
Itaguaçu	1,62	30,70		

Fonte: Adaptado de Abreu (2011).

2.3 REGIME DE MARÉS

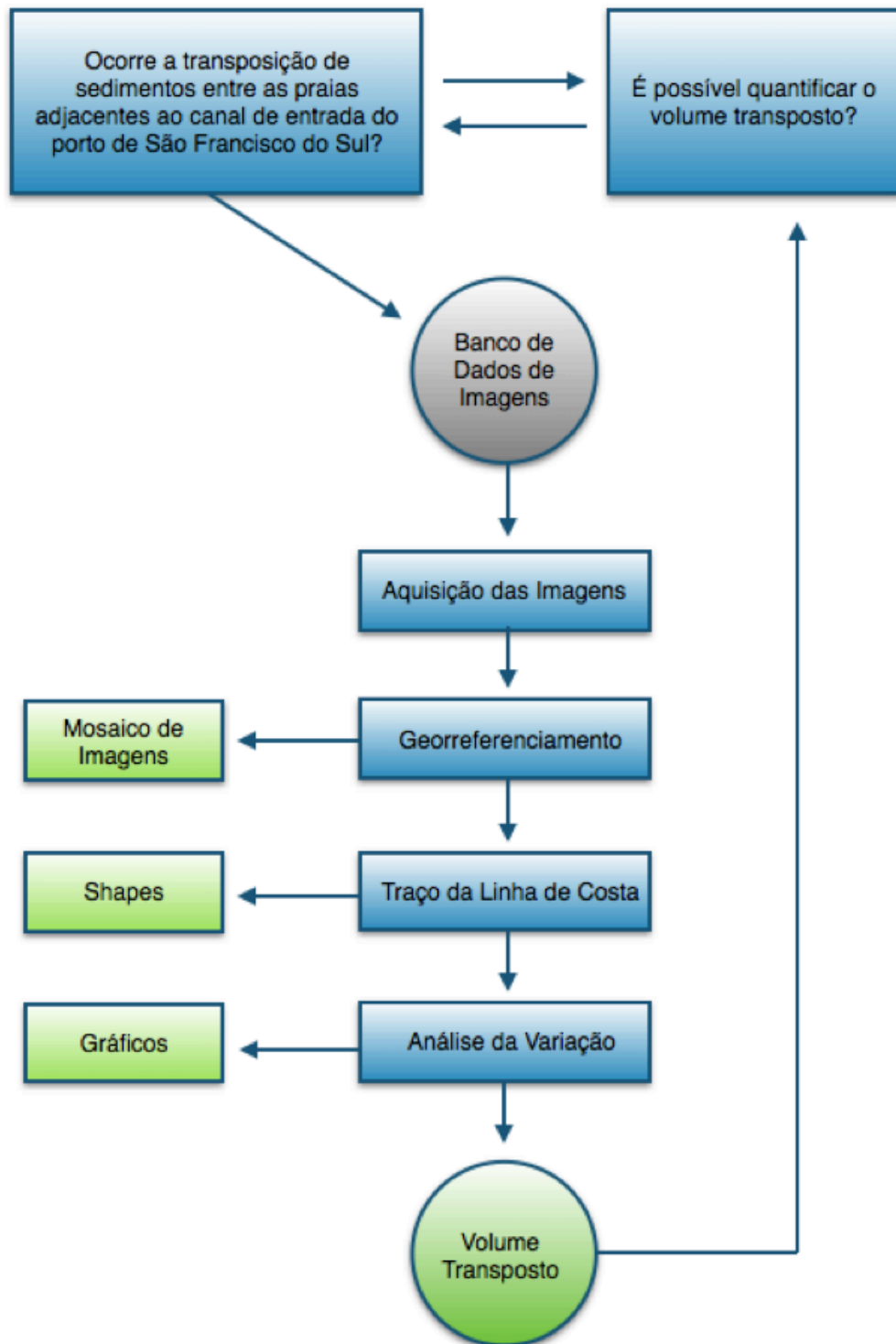
A região possui um regime de micro maré, com uma altura média de aproximadamente 0,8 metros, variando entre 0,5 até 1,2 metros durante períodos de quadratura e sizígia, respectivamente (TRUCCOLO; SCHETTINI, 1999). Ainda, efeitos meteorológicos podem causar expressivas sobre-elevações no nível do mar em relação às

marés astronômicas na região costeira adjacente à baía, podendo estas serem superiores a um metro em eventos extremos (TRUCCOLO, 1998).

3 METODOLOGIA

Este capítulo aborda a metodologia utilizada no desenvolvimento deste trabalho acadêmico, representada resumidamente na Figura 2.

Figura 2 - Fluxograma da metodologia empregada.



3.1 AQUISIÇÃO DAS IMAGENS E GEOREFERENCIAMENTO

A série de imagens de satélites dos anos de 2003, 2009, 2011, 2012, 2014 e 2016, foram adquiridas da base disponibilizada pelo software Google Earth Pro (GE). As imagens foram capturadas a uma altitude de 1000m que nos garante uma resolução mínima de 1m por pixel, suficiente para o georeferenciamento das imagens e criação dos mosaicos de cada setor de praia, mesmo em imagens com poucos marcos artificiais.

Aerofotos dos anos de 1957 e 1978 foram fornecidas pela Secretaria de Estado do Planejamento de Santa Catarina (SPG). A tabela 3 mostra um resumo das imagens, sua respectiva fonte.

Tabela 3 - Fotografias aéreas verticais disponíveis para a área de estudo do projeto.

Data	Fonte	Setores	Digitalização (em dpi)	Escala
1957	SPG	Todos	600dpi	1:25.000
1978	SPG	Todos	600dpi	1:25.000
2003	GE	Praia Grande, Prainha, Pier, Enseada/Ubatuba, Itaguaçu e Capri/Forte		Ponto de visão 1000m de altitude
2009	GE	Praia Grande, Prainha, Pier, Enseada/Ubatuba, Itaguaçu e Capri/Forte		Ponto de visão 1000m de altitude
2010	SDS	Todos	600dpi	1:10.000
2011	GE	Todos		Ponto de visão 1000m de altitude
2012	GE	Prainha, Pier, Enseada/Ubatuba, Itaguaçu, Capri/Forte e Itapoá		Ponto de visão 1000m de altitude
2014	GE	Todos		Ponto de visão 1000m de altitude
2016	GE	Todos		Ponto de visão 1000m de altitude

Fonte: Secretaria de Planejamento e Gestão do Estado (SPG), Secretaria de Desenvolvimento Sustentável – Diretoria de Recursos Hídricos – Coordenação de Cartografia (SDS), Google Earth Pro (GE).

3.1.1 Resolução

Para a utilização de ortofotografias ou imagens de satélite, sugere-se manter uma representação do pixel de 1 metro aproximadamente, ou seja, cada pixel das fotografias representando 1 metro no terreno (ARAUJO et al., 2013).

Para definir a representatividade do pixel no terreno multiplica-se $2,54 \times 10^{-2}$ × (valor, em metros, de uma polegada) pela escala da imagem e, então divide-se o resultado pela resolução com que a imagem foi digitalizada, conforme a equação:

$$\text{Representatividade do pixel} = \frac{2,54 \times 10^{-2} \times \text{Escala}}{\text{resolução (dpi)}} \quad (1)$$

Se uma imagem de escala 1:25.000 é digitalizada com uma resolução de 600 dpi, tem-se:

$$\text{Representatividade do pixel} = \frac{2,54 \times 10^{-2}(m) \times 25.000}{600dpi} = 1,058m$$

A Tabela 4 apresenta os valores da representatividade do pixel para cada grupo de fotografias aéreas utilizadas.

Tabela 4 - Fotografias aéreas verticais disponíveis para a área de estudo do projeto.

Data	Setores	Digitalização (em dpi)	Escala	Tamanho do pixel (m)
1957	Todos	600	1:25.000	1,058
1978	Todos	600	1:25.000	1,058
2003	Praia Grande, Prainha, Pier, Enseada/Ubatuba, Itaguaçu e Capri/Forte		-	Ponto de visão 1000m de altitude
2009	Praia Grande, Prainha, Pier, Enseada/Ubatuba, Itaguaçu e Capri/Forte		-	Ponto de visão 1000m de altitude
2010	Todos	600	1:10.000	0,42
2011	Todos		-	Ponto de visão 1000m de altitude
2012	Prainha, Pier, Enseada/Ubatuba, Itaguaçu, Capri/Forte e Itapoá		-	Ponto de visão 1000m de altitude
2014	Todos		-	Ponto de visão 1000m de altitude
2016	Todos		-	Ponto de visão 1000m de altitude

3.1.2 Georeferenciamento

Uma ortofoto de 2010 de alta resolução disponibilizada pela Secretaria de Desenvolvimento Sustentável de Florianópolis (SDS), com uma escala de 1:10.000 e digitalizada com uma resolução de 600dpi, foi utilizada para georeferenciar as imagens através do programa de sistemas de informações geográficas QGIS (Versão 2.18). As imagens de satélite foram georeferenciadas ancorando pelo menos 5 pontos e obtendo-se um erro residual máximo de 2 pixels.

Todas as informações obtidas foram convertidas para o Datum WGS 84 (World Geodetic System) e projeção zona UTM 22.

3.1.2.1 Erro Quadrático Médio

O erro quadrático médio (EQM, ou “Root Mean Square” RMS) do georeferenciamento foi obtido afim de se avaliar a precisão da correção geométrica, através da fórmula proposta por Klein et al. (2015).

$$EQM = \sqrt{(X_{Foto} - X_{Base})^2 + (Y_{Foto} - Y_{Base})^2} (2)$$

Afim de se obter um nível de confiança de 95% em relação a posição verdadeira dos pontos na base cartográfica, o EQM foi multiplicado pela constante 1,7308 (FGDC-STD, FEDERAL GEOGRAPHIC DATA COMMITTEE, 1998). A tabela 3 mostra os valores do erro quadrático médio para cada conjunto de imagens e setor.

Tabela 5 - Erro quadrático médio do georreferenciamento das imagens para cada Setor.

SETOR Praia	1957	1978	2003	2009	2010	2011	2012	2014	2016
Grande	19,57	17,13	4,90	4,90	1,73	4,90	4,90	4,90	4,90
Prainha	14,69	12,23	4,41	4,41	1,73	4,41	4,41	4,41	4,41
Pier	14,69	12,23	4,41	4,41	1,73	4,41	4,41	4,41	4,41
Enseada / Ubatuba	14,69	12,23	4,41	4,41	1,73	4,41	4,41	4,41	4,41
Itaguaçu	14,69	12,23	4,41	4,41	1,73	4,41	4,41	4,41	4,41
Capri / Forte	14,69	12,23	4,90	4,90	1,73	4,90	4,90	4,90	4,90
Itapoá	19,57	17,13	4,90	4,90	1,73	4,90	4,90	4,90	4,90

3.2 EXTRAÇÃO DA LINHA DE COSTA

A linha de costa (LC), de cada ano foi extraída de um mosaico de imagens georeferenciadas obtidas numa mesma data. A LC foi traçada visualmente utilizando a ferramenta de traço vetorial do QGIS 2.18. Utilizou-se nesse trabalho o espraiamento máximo da onda sobre a face da praia, ou em inglês "High Water Line".

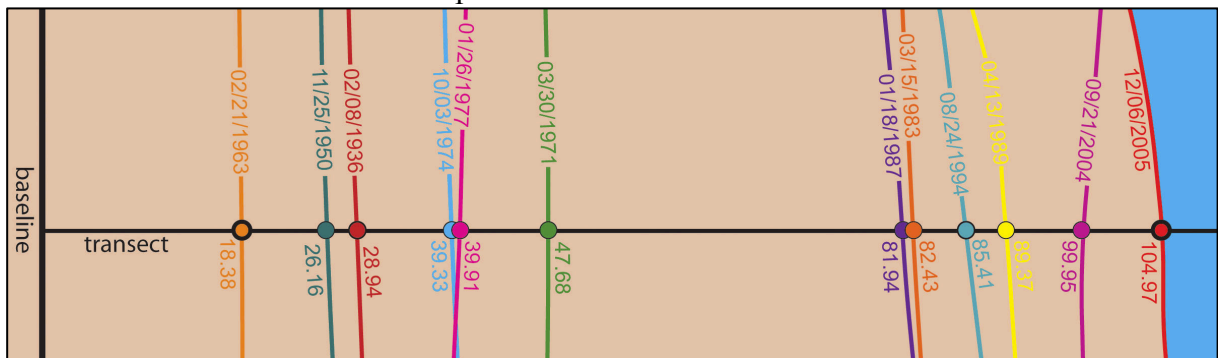
3.2.1 High Water Line

A "High Water Line" ou HWL é a interface entre a areia seca e molhada e é reestabelecida cada vez que a maré alcança o ponto mais alto. Ela fornece uma linha evidente e de confiança razoável na análise da linha de costa de imagens aéreas. Segundo Komar (1983) a HWL se move muita mais lentamente e varia menos que o ponto do "run up" instantâneo máximo, fornecendo uma maior exatidão na análise. Mesmo comparando imagens de diferentes momentos do ciclo lunar em praias com declive entre 1:10 e 1:50 a variação média do HWL é de foi de 1 a 2m.

3.3 TAXA DE VARIAÇÃO DA LINHA DE COSTA

A taxa de variação da linha de costa foi calculada através da ferramenta "Digital Shoreline Analysis System" (DSAS) desenvolvida por Thieler (2005) e melhorada por Thieler et al. (2009). A ferramenta DSAS fornece os valores em metros da distância entre interseção de cada transecto a LC traçada até a intersecção da linha base como apresentado na Figura 3.

Figura 3 - Exemplo de um transecto construído com a ferramenta DSAS, a intersecção de diferentes linhas de costa e suas respectivas distâncias até a linha base.



Fonte: (THIELER et al., 2009)

Transectos perpendiculares a costa e distanciados 50m entre si foram gerados junto com uma linha base ou "baseline". As distâncias, em metros, entre o ponto que o transecto corta a LC correspondente a determinado ano e a linha base são registradas num arquivo junto com as coordenadas desses pontos.

Afim de se abranger as maiores variações locais da linha, especialmente em cúspides praias, e a geomorfologia irregular destes setores, foram traçados transectos de 400m de

comprimento. Transectos em cúspides, especialmente na Praia do Forte / Capri, chegaram a registrar variações de até 176,84m de diferença entre LC analisadas.

As taxas de evolução da LC entre dois anos consecutivos foram calculadas subtraindo o valor da data mais recente da data diretamente anterior. Para essa análise foram utilizadas apenas as LC referentes a determinada data na qual as imagens englobavam toda nossa área de estudo, são elas as LCs de 1956, 1978, 2010, 2011, 2014 e 2016.

3.3.1 Análise Estatística

A análise estatística empregada foi a regressão linear, ou em inglês "*Linear Regression Rate-of-change*" LRR. A LLR é determinada ajustando uma linha de regressão dos mínimos quadrados para todos os pontos da LC em um transecto particular (THIELER et al., 2009). A taxa de regressão linear é a inclinação da linha.

O método de regressão linear inclui esses recursos: (1) Todos os dados são usados, independentemente das mudanças de tendência ou precisão, (2) O método é puramente computacional, (3) o cálculo é baseado em conceitos estatísticos aceitos, e (4) O método é fácil de empregar (DOLAN et al., 1991).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados deste trabalho serão apresentados neste capítulo. Primeiramente será feita uma abordagem macro dos resultados das taxas de evolução da LC da totalidade da área de estudo, seguindo por uma análise mais minuciosa de cada setor.

4.1 Evolução da Linha de Costa

Foram analisados as variações das linhas de costa em 940 transectos divididos entre os 7 setores que compõe nossa área de estudo. Os valores das variações médias das LC de cada setor estão disponíveis na tabela 7 no Apêndice. O deslocamento da LC de cada período analisado é apresentado considerando apenas as mudanças maiores que o EQM. As maiores variações foram encontradas no Setor Capri/Forte, com máxima retração de 176,84 m/ano e máxima avanço de 172,57 m/ano, seguido do Setor Enseada/Ubatuba com 92,75 m/ano de retração e 97,66 m/ano de avanço.

A alta dinâmica sedimentar desses locais pode ser explicada pela presença de um esporão ou pontal arenoso, em inglês "*spit*", no Setor Capri/Forte, caracterizado pelo acúmulo e migração de sedimento ao longo da costa desencadeado por eventos meteorológicos extremos, e por desembocaduras de rios como a encontrada no Setor Enseada/Ubatuba, altamente sensíveis as descargas fluviais e também controladas por eventos extremos de curta duração.

Esses dois setores também tiveram os maiores desvios padrão com $\pm 24,39$ m/ano e $\pm 10,07$ m/ano respectivamente. As maiores médias de variação também foram encontradas no Setor Capri/Forte, com uma média de todos os transectos de 3,24 m/ano de retração, seguido pelo Setor Norte da Praia Grande com 3,13 m/ano, do Pier com 2,94 m/ano, da Praia de Itaguaçu com 2,71 m/ano e do Norte de Itapoá com 2,68 m/ano de retração. A tabela 6 mostra um resumo dos valores para cada setor, os setores da Praia Grande e da Praia de Itapoá, que coincidem serem os maiores setores e os extremos da nossa área de estudo, foram subdivididos em três subsetores para uma melhor avaliação dos resultados.

Tabela 6 - Resumo geral da tendência por Setor, valores em metros.

SETOR Praia	Número de Transectos	$\mu \pm \sigma$ (m.ano ⁻¹)	min (m.ano ⁻¹)	max (m.ano ⁻¹)	<i>LRR</i> (m.ano ⁻¹)
Grande	317	-2,58 ± 5,06	-23,69	23,03	-0,51
Norte	129	-3,13 ± 5,25	-22,64	23,03	-1,06
Centro-Norte	128	-2,25 ± 5,34	-23,69	5,07	0,06
Centro *	60	-1,88 ± 2,93	-12,06	4,55	-2,79
Prainha	9	-0,78 ± 3,21	-7,28	11,32	-0,67
Pier **	5	-2,94 ± 4,17	-12,39	1,42	-0,37
Enseada / Ubatuba	108	-1,53 ± 10,07	-92,75	97,66	-0,68
Itaguaçu	40	-2,71 ± 8,28	-31,99	11,31	-0,47
Capri / Forte	141	-3,24 ± 24,39	-176,84	172,57	-0,06
Itapoá	320	-1,34 ± 5,39	-39,35	18,54	-0,28
Norte	129	-2,68 ± 6,85	-30,95	6,60	-0,14
Centro	128	-0,86 ± 4,66	-39,35	18,54	-0,31
Sul	60	-0,13 ± 3,19	-23,37	8,85	-0,30

* O Subsetor Sul da Praia Grande não possui dados referentes a 2014, os valores observados são referentes aos períodos de (1956-1978, 1978-2010, 2010-2011);

** Como o Pier não havia sido construído em 1956; os valores observados nesse Setor são referentes aos períodos de (1978-2010, 2010-2011, 2011-2014, 2014-2016).

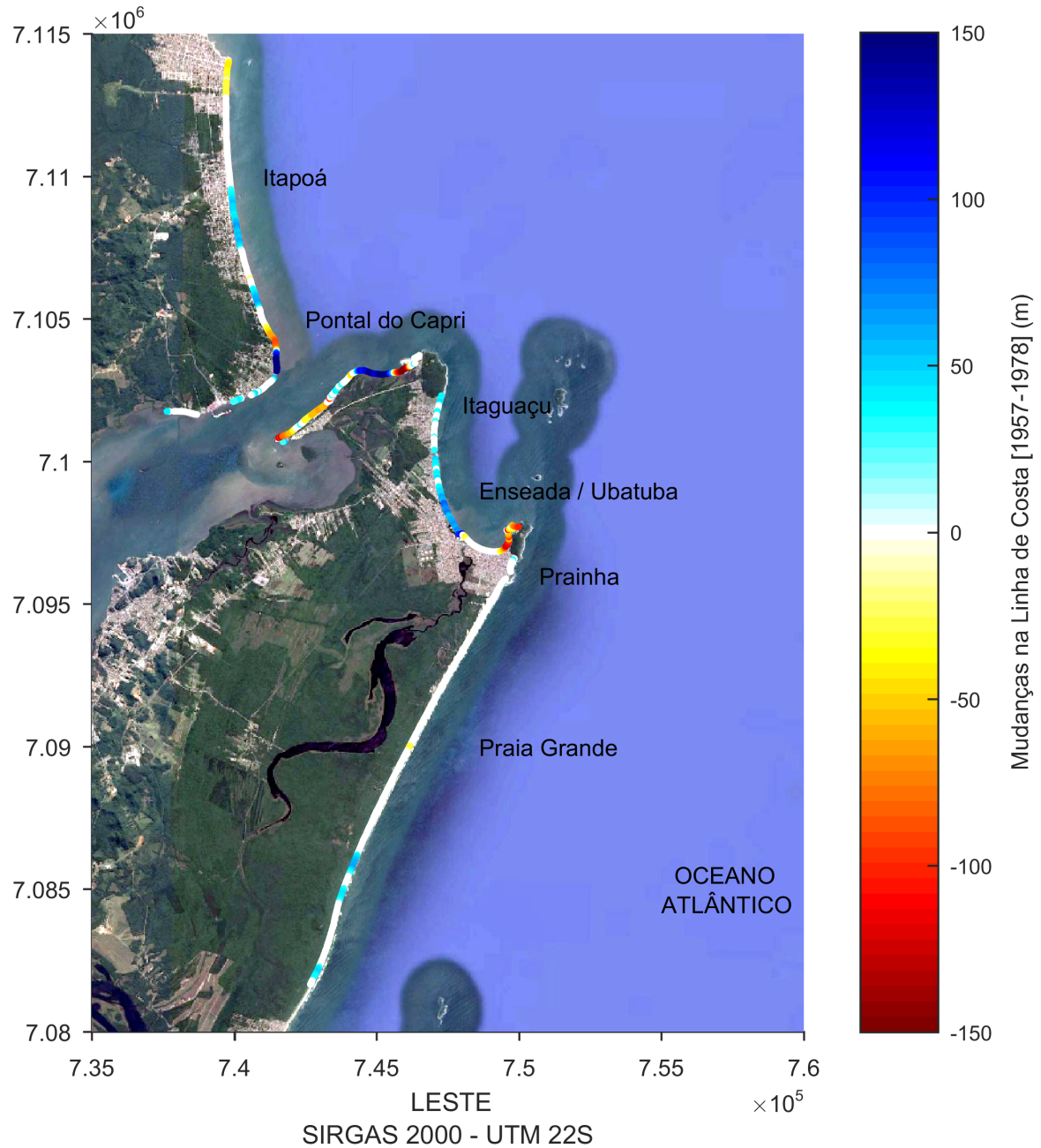
As taxas de regressão linear, ou LLR, que é a inclinação da linha obtidas entre os valores médios de cada período analisado (1957-1978, 1978-2010, 2010-2011, 2011-2014 e 2014-2016) nos fornece a taxa média anual de mudança das LCs. As maiores retrações, foram encontrados para o Setor Praia da Enseada/Ubatuba com 0,68 m/ano, seguido por Prainha

com 0,67 m/ano, Praia Grande com 0,51 m/ano, e Praia de Itaguaçu com 0,47 m/ano de retração.

A Figura 7 mostra as mudanças na LC entre 1957-1978 e Figura 8 entre 1978-2010, períodos de 21 e 32 anos respectivamente.

No primeiro período, 1957-1978, notou-se um grande avanço na porção sul da Praia de Itapoá maior que 150 m (entre os transectos 219 e 229, com um avanço máximo de 168,06 m no transecto 225). Seguido de uma retração num setor adjacente logo acima de mais de 80 m (entre os transectos 203 e 208, com a retração máxima de 92,08 m no transecto 205). Ainda foi possível perceber outros pontos de avanço ao longo desse Setor e uma retração no extremo norte. Outro ponto crítico está localizado no Setor Capri/Forte com um padrão de retração na extremidade do Pontal do Capri e na Praia do Forte e um ponto de avanço entre eles de mais de 120 m (entre os transectos 102 e 115, máximo de 161,59 m no transecto 113). Nota-se um padrão moderado de avanço no Setor Praia de Itaguaçu (máximo de 46,93 m no transecto 7) e um pouco maior na Praia de Ubatuba (máximo de 125,39 m no transecto 59), enquanto na porção sul do Setor Praia de Ubatuba/Enseada próximo ao costão direito uma retração acentuada (alcançando 157,71 m no transecto 102).

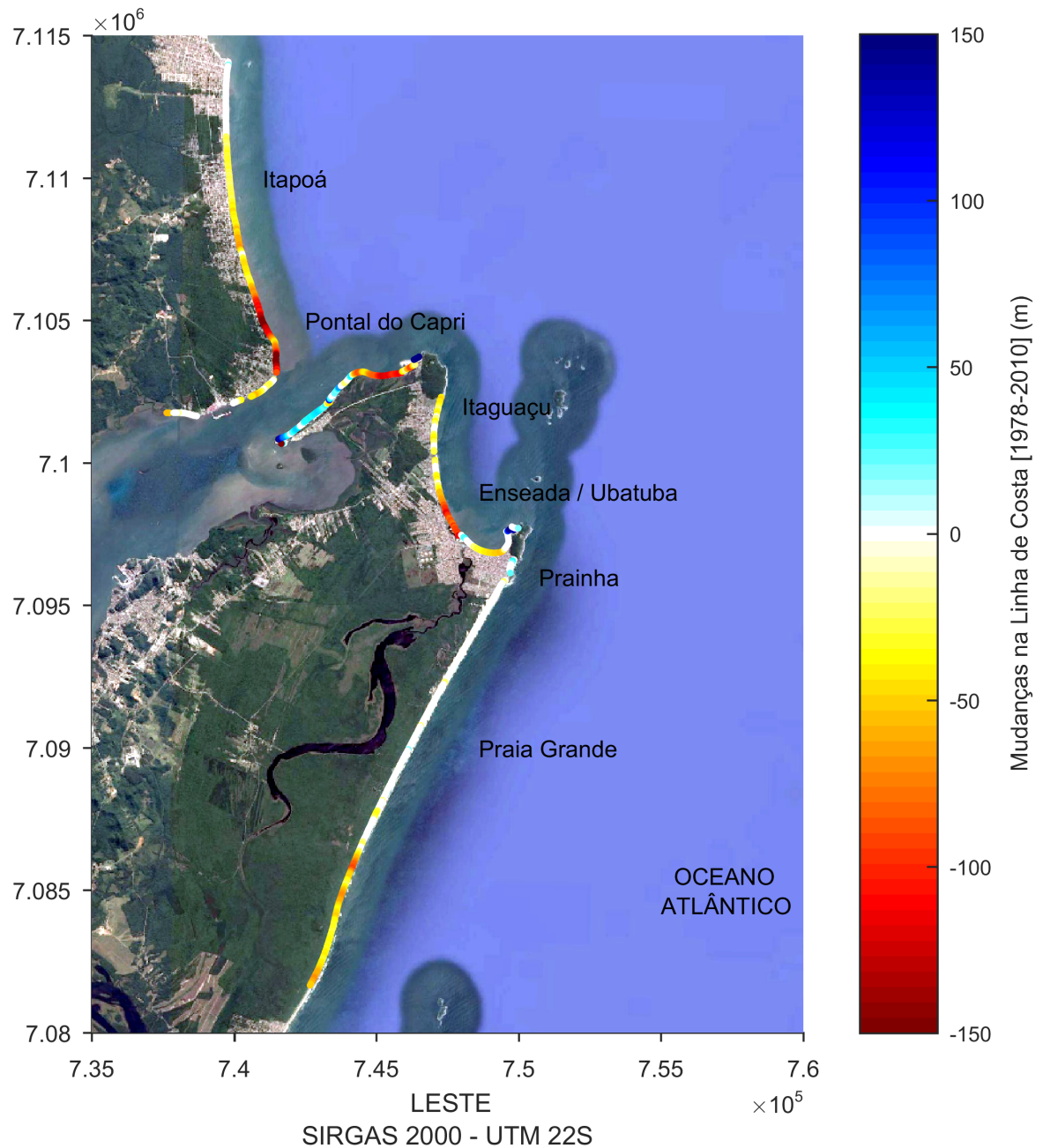
Figura 4 - Variações na linha de costa entre 1957 e 1978.



No segundo período, 1978-2010, como mostra a Figura 8, notou-se um padrão de retração da LC no Setor da Praia de Itapoá, Itaguaçu, Enseada/Ubatuba e na porção sul da Praia Grande, com pontos críticos na porção sul de Itapoá com retrações superiores a 100 m (entre os transectos 172 e 197, chegando a 172,01 m no transecto 187; e entre os transectos 211 e 227, chegando a 185,09 m no transecto 218), em Ubatuba com retração superior a 80 m (entre os transectos 35 e 48, chegando a 121,06 m no transecto 48), e na Praia do Forte com

retração superior a 100 m (entre os transectos 110 e 123, chegando a 122,64 m no transecto 112). Ainda foi possível observar um padrão de avanço da LC no Setor da Prainha, no Pier e no Pontal do Capri, com maiores valores na extremidade do Pontal, e nos costões direitos da Praia do Forte e da Praia da Enseada, com avanços superiores a 150 m.

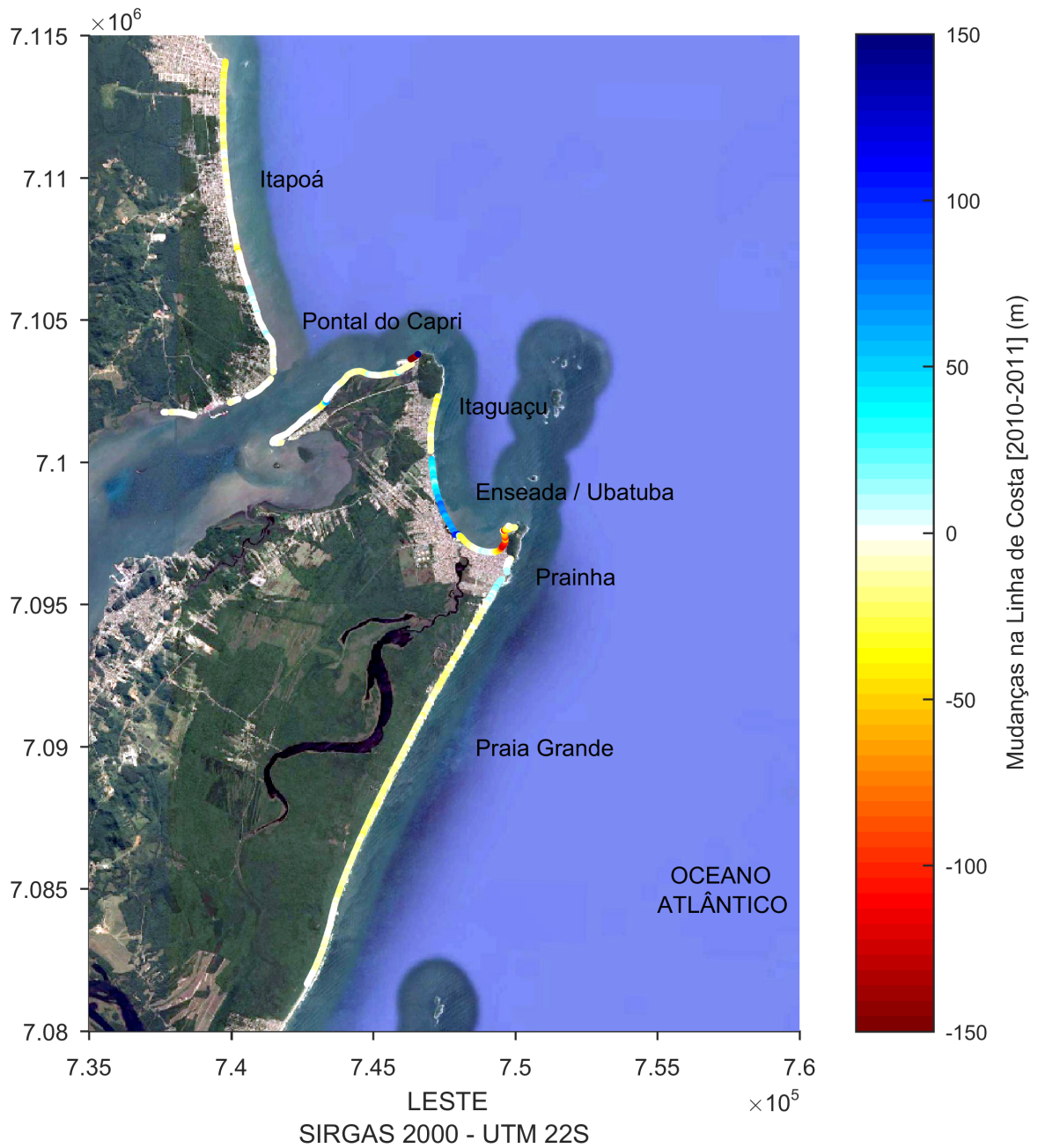
Figura 5 - Variações na linha de costa entre 1978 e 2010.



A partir de 2010 o período entre as LCs foi inferior e também notou-se mudanças mais brandas. A Figura 9 mostra as mudanças na LC entre 2010-2011, a Figura 10 entre 2011-2014 e a Figura 11 entre 2014-2016, períodos de 1, 3 e 2 anos respectivamente.

No período entre 2010-2011, foi possível perceber um padrão de retração ao longo de grande parte do Setor da Praia Grande e avanço na porção norte próximo ao costão, sendo o transecto número 22 o ponto de inversão deste padrão. Analogamente no Setor Praia de Itapoá foi possível perceber um padrão de retração na porção norte e com alguns pontos de avanço ao sul, coincidindo com os mesmos pontos críticos dos períodos anteriores. Esse padrão de retração também foi notado nos Setor da Praia de Itaguaçu e na Praia da Enseada. Todavia apesar de maiores que o erro, na grande maioria dos transectos, os valores dificilmente atingiram os 50 m. As maiores diferenças nesse período ocorreram na Praia de Ubatuba onde notou-se um padrão de avanço da LC, e nos extremos da Praia da Enseada onde notou-se um padrão de retração, em especial o costão direito.

Figura 6 - Variações na linha de costa entre 2010 e 2011.



No período subsequente, 2011-2014, percebeu-se um padrão de avanço nos Setores da Praia de Itaguaçu, extremo norte da Praia de Ubatuba e sul da Praia da Enseada. No Setor da Praia de Itapoá também notou-se avanço da LC em grande parte dos transectos, porém com alguns pontos de retração que coincidem com os *pontos críticos* observados anteriormente neste setor. No Setor Praia do Forte / Capri observou-se quase em toda sua extensão um padrão de retração, com exceção do extremos do Pontal. Enquanto no Setor da Praia Grande notou-se mudanças brandas e variadas, com acreções mais frequentes ao sul e retrações na

porção norte, especialmente na porção adjacente ao promontório que divide a Praia Grande da Prainha. Todavia essas mudanças dificilmente passaram dos 50 m.

Mais recentemente, entre 2014-2016, percebeu-se o mesmo padrão de retração na porção norte do Setor da Praia Grande, e o mesmo padrão em outros Setores como o da Praia de Itapoá, da Praia de Itaguaçu e da Praia de Ubatuba. Percebeu-se alguns pontos isolados de avanço na porção sul de Itapoá, no meio e no costão direito do Setor Pontal do Capri/Praia do Forte, e no meio do Setor Praia da Enseada.

Figura 7 - Variações na linha de costa entre 2011 e 2014.

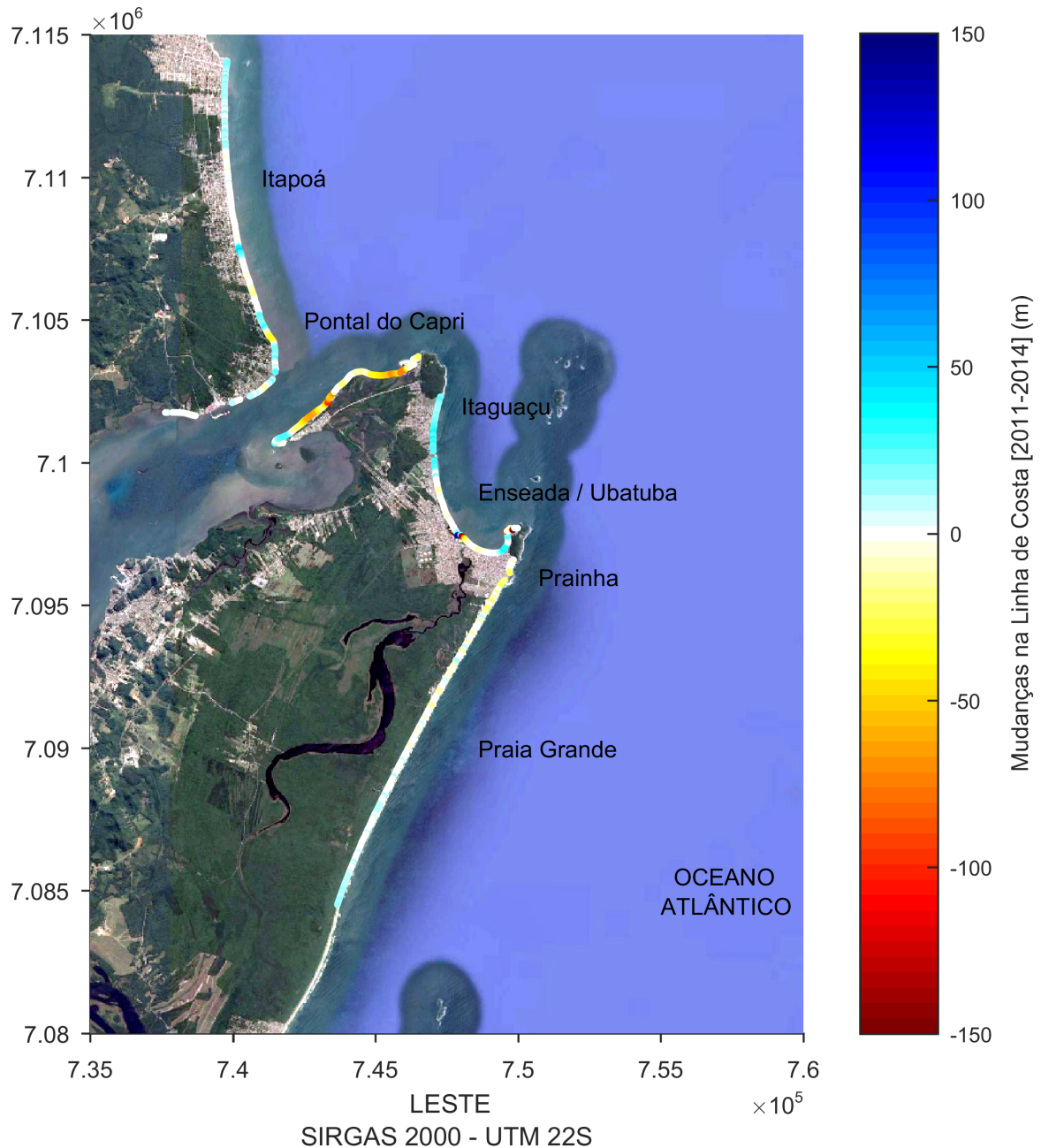
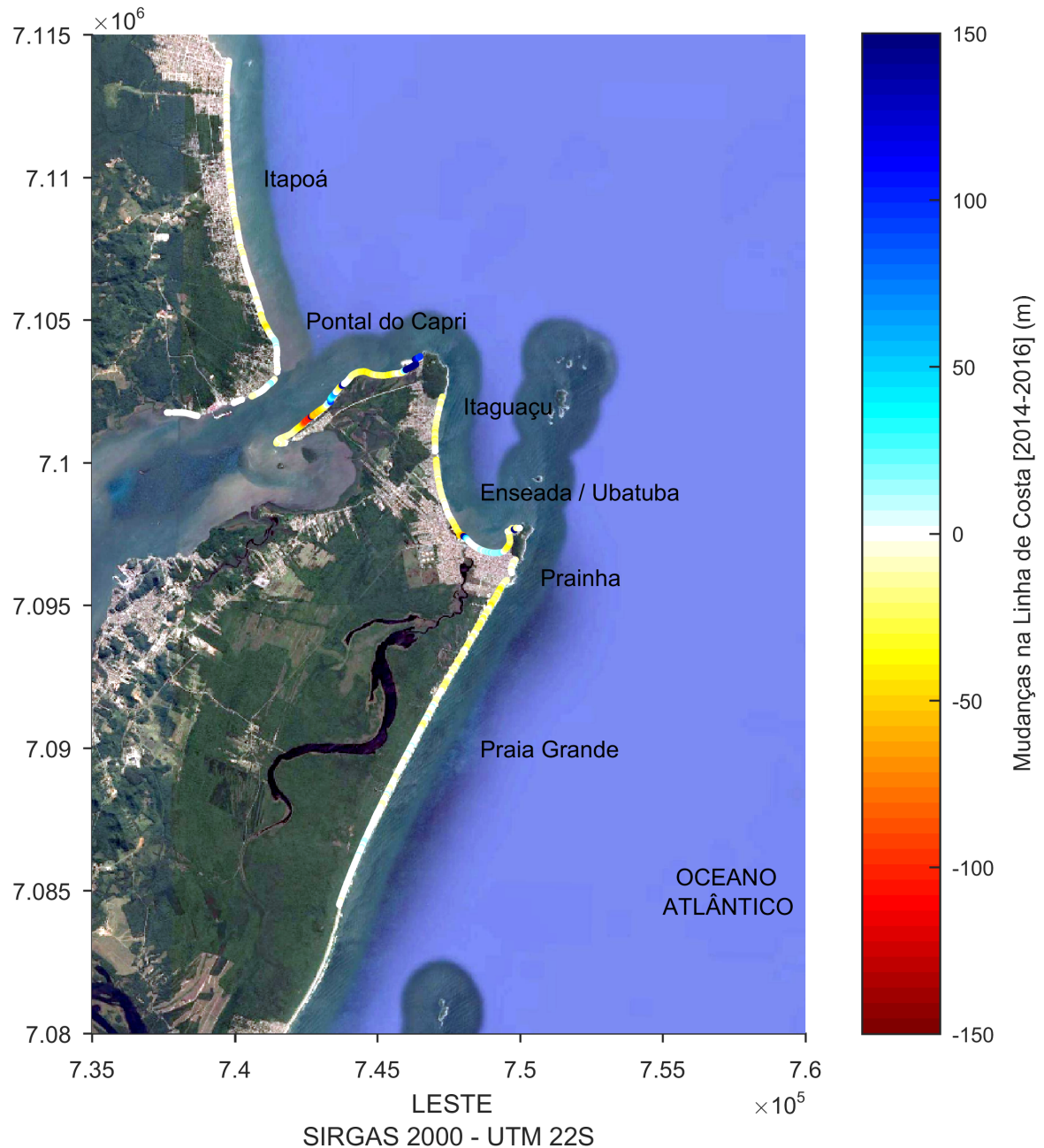


Figura 8 - Variações na linha de costa entre 2014 e 2016.

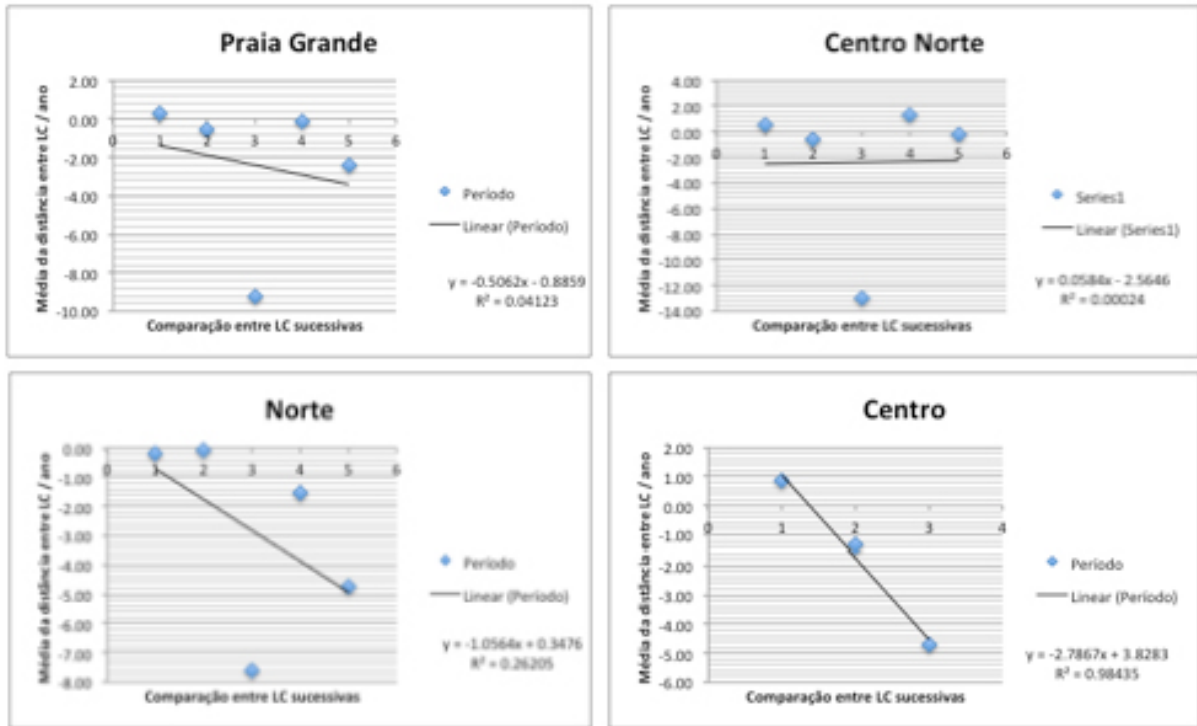


4.1.1 Praia Grande

Praia Grande é o maior Setor ao sul do canal de entrada da Baía da Babitonga com um total de 317 transectos. Verificou-se uma certa homogeneidade quanto aos gradientes de avanço / retração e a presença de rotação praial. Com uma taxa de retração de com 0,51 m/ano, considerando a média de todos os transectos, foi possível notar uma migração sentido Sul-Norte quanto ao padrão de retração, que passou a ser mais intensa na porção Norte nos

últimos anos. A Figura 12 mostra o valor referente a média dos transectos desse Setor num todo e subdivido em setores menores.

Figura 9 - Valor médio da variação da linha de costa entre os períodos analisados 1957-1978, 1978-2010, 2010-2011, 2011-2014, 2014-2016; e a taxa de regressão linear, para o Setor Praia Grande e seus subsetores.

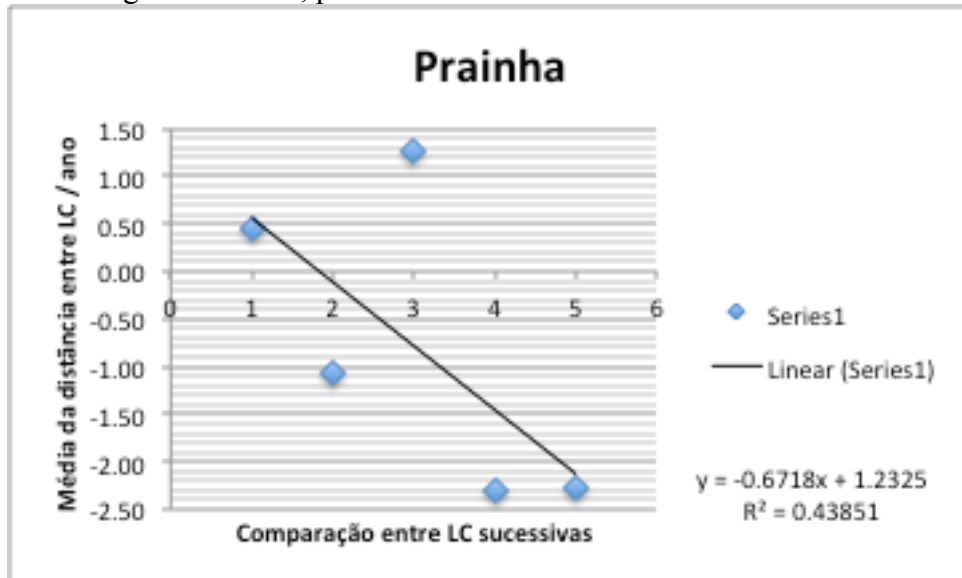


O subsetor central (Centro-Norte), apresentou estabilidade ao longo do período analisado, com o valor de 0,06 m/ano de avanço, menor do que o erro médio calculado. O subsetor mais ao sul (Centro) obteve os maiores valores de retração com 2,79 m/ano. Todavia vale lembrar que nesse subsetor o esforço amostral foi menor, dificultando a comparação da LRR desse com os demais.

4.1.2 Prainha

No Setor Prainha, com um total de 9 transectos, obteve-se uma taxa de retração de 0,67 m/ano considerando a LLR da média dos transectos. Foi o Setor com menor desvio padrão entre os transectos com $\pm 3,21$ m/ano. Dois períodos de avanço (1957-1978 e 2010-2011) e nos outros três foi observada uma média de retração, chegando a valores maiores nos últimos dois períodos analisados com aproximadamente 2,3 m/ano de retração. A figura 13 mostra os valores médios e a LRR para este Setor.

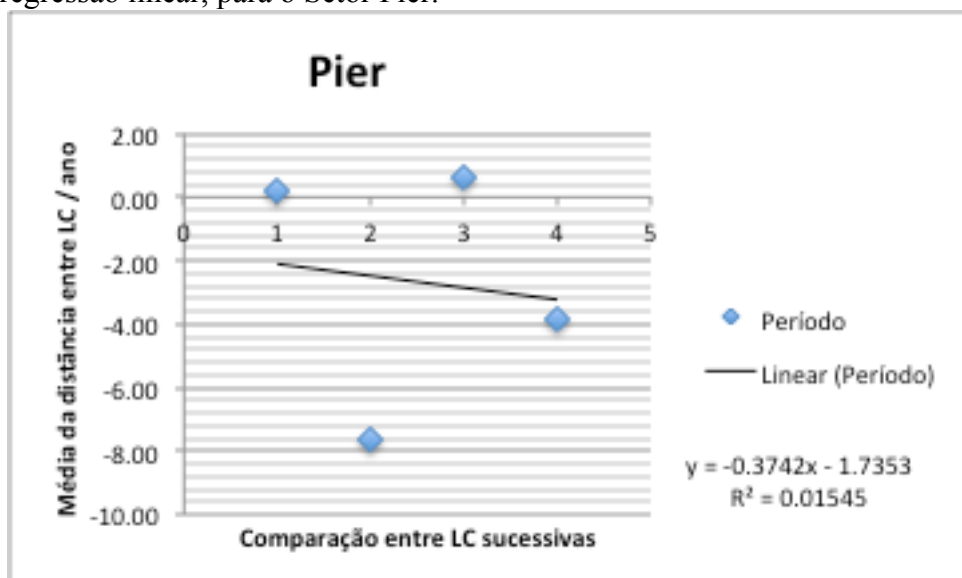
Figura 10 - Valor médio da variação da linha de costa entre os períodos analisados 1957-1978, 1978-2010, 2010-2011, 2011-2014, 2014-2016; e a taxa de regressão linear, para o Setor Prainha.



4.1.3 Pier

No Setor Pier, com um total de 5 transectos, obteve-se uma taxa de retração de 0,37 m/ano. Todavia apenas quatro períodos foram avaliados pois na LC de 1957 o Pier ainda não havia sido contruído. A figura 14 mostra os valores médios e a LRR para este Setor.

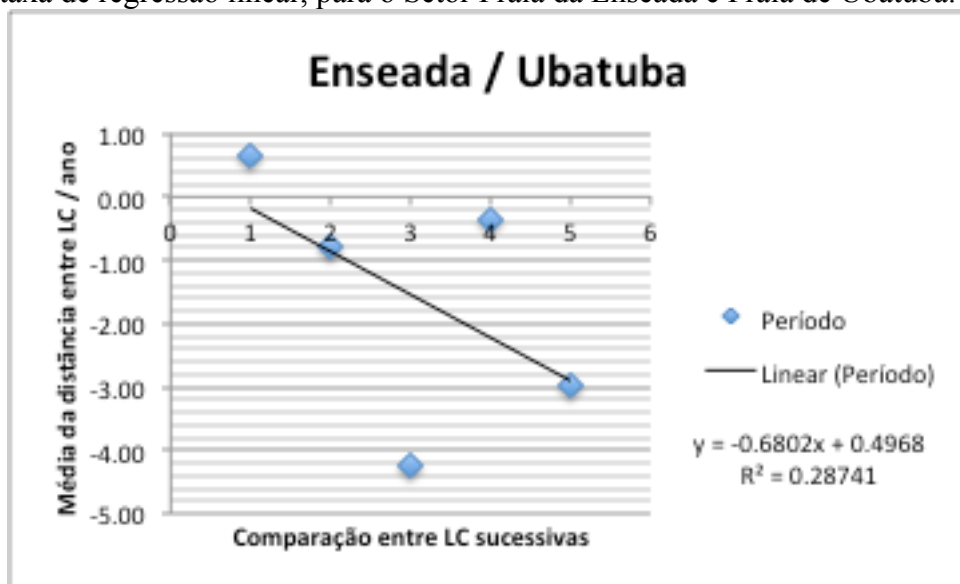
Figura 11 - Valor médio da variação da linha de costa entre os períodos analisados 1978-2010, 2010-2011, 2011-2014, 2014-2016; e a taxa de regressão linear, para o Setor Pier.



4.1.4 Praia da Enseada e Praia de Ubatuba

No Setor que compreende as Praias da Enseada e de Ubatuba, com um total de 108 transectos, obteve-se uma taxa de retração de 0,68 m/ano, valor muito próximo ao encontrado no Setor Prainha. Todavia apesar de uma média não tão expressiva com retração de 1,53 m/ano esse setor apresentou grandes desvios $\pm 10,07$ m/ano, ficando apenas atrás do Setor Pontal do Capri e Praia do Forte, o que pode ser explicado pela formação de cúspides ou "spits" junto aos costões destes dois setores, e sua dinâmica migratória desencadeado por eventos meteorológicas de curta duração. Todavia o setor com maior variação fica entre as Praias da Enseada e de Ubatuba, onde se encontra a desembocadura do Rio Acaraí. A linha de costa nessa porção é altamente dinâmica, e têm sua forma regulada pela alternância entre o acúmulo de sedimento pelo transporte transversal a praia e descargas fluviais que moldam a LC. A figura 15 mostra os valores médios e a LRR para este Setor.

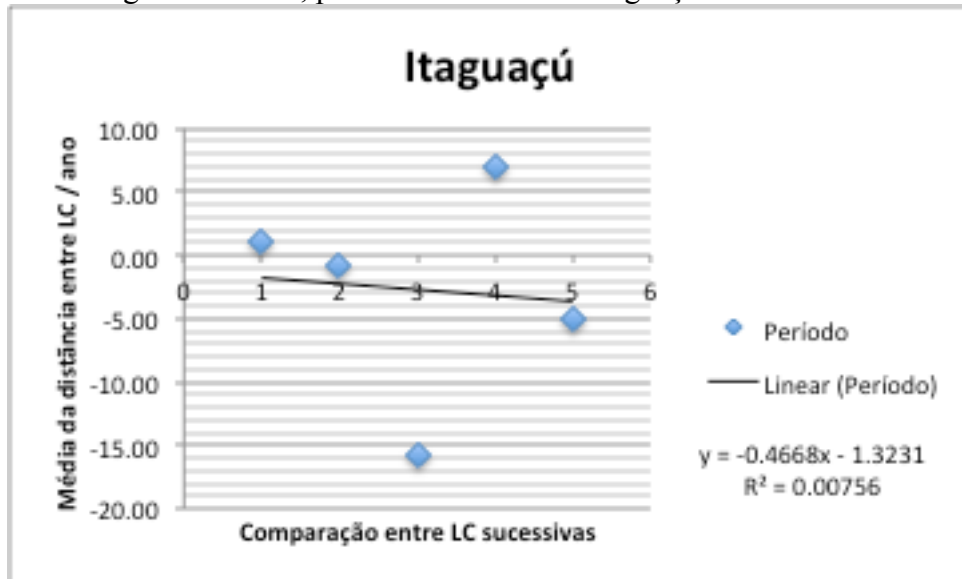
Figura 12 - Valor médio da variação da linha de costa entre os períodos analisados 1957-1978, 1978-2010, 2010-2011, 2011-2014, 2014-2016; e a taxa de regressão linear, para o Setor Praia da Enseada e Praia de Ubatuba.



4.1.5 Praia de Itaguaçu

No Setor da Praia de Itaguaçu, com um total de 40 transectos, obteve-se uma taxa de retração de 0,47 m/ano, com uma média entre os transectos de -2,71 m/ano e um desvio de $\pm 8,28$ m/ano. A figura 16 mostra os valores médios e a LRR para este Setor.

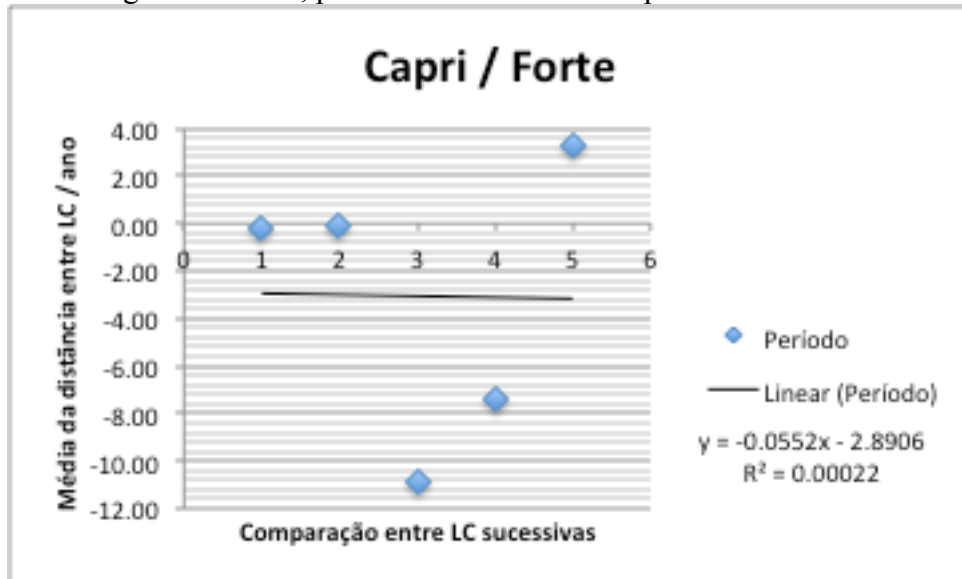
Figura 13 - Valor médio da variação da linha de costa entre os períodos analisados 1957-1978, 1978-2010, 2010-2011, 2011-2014, 2014-2016; e a taxa de regressão linear, para o Setor Praia de Itaguaçu.



4.1.6 Pontal do Capri e Praia do Forte

No Setor do Pontal do Capri e Praia do Forte, com um total de 141 transectos, obteve-se uma taxa de retração de 0,06 m/ano, a menor entre todos os setores analisados. No entanto esse Setor teve a maior média entre os transectos com -3,24 m/ano, o maior desvio padrão $\pm 24,39$ m/ano, e os maiores valores absolutos de retração e avanço, 176,84 e 172,57 respectivamente. Esses dados confirmam a alta dinâmica característica dos "spits" e sua ciclicidade. Esse é o maior "spit" do litoral norte de Santa Catarina e recentemente foi cogitado a implantação de um segundo terminal portuário nessa região. A figura 17 mostra os valores médios e a LRR para este Setor.

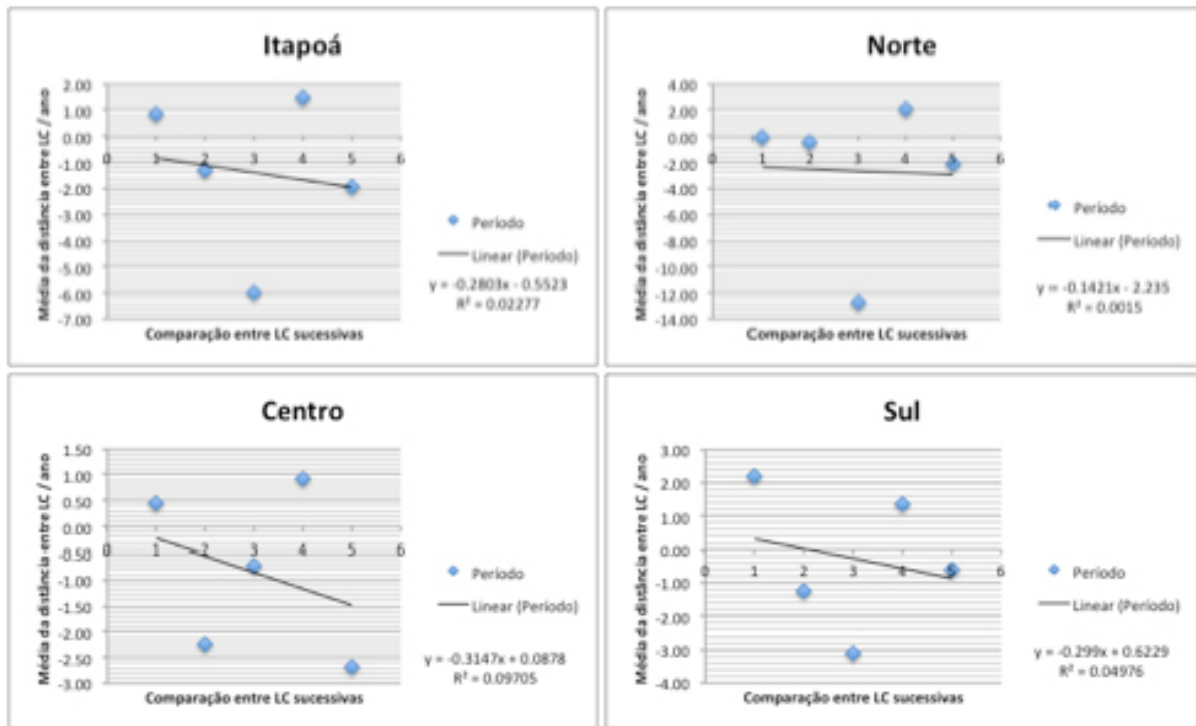
Figura 14 - Valor médio da variação da linha de costa entre os períodos analisados 1957-1978, 1978-2010, 2010-2011, 2011-2014, 2014-2016; e a taxa de regressão linear, para o Setor Pontal do Capri/Praia do Forte.



4.1.7 Praia de Itapoá

Praia de Itapoá é o maior Setor ao norte do canal de entrada da Baía da Babitonga com um total de 320 transectos, verificou-se uma certa homogeneidade quanto aos gradientes de avanço/retração e a presença de rotação praial. Com uma taxa de retração de 0,28 m/ano, considerando a média de todos os transectos, foi a menor se comparada entre os outros setores com as mesmas características quanto a posição e incidência de ondulação. Com uma retração média por transecto de -1,34 m/ano foi a segunda menor média, ficando apenas atrás do Setor Prainha com média de -0,74 m/ano. A Figura 18 mostra o valor referente a média dos transectos desse Setor num todo e subdividido em setores menores.

Figura 15 - Valor médio da variação da linha de costa entre os períodos analisados 1957-1978, 1978-2010, 2010-2011, 2011-2014, 2014-2016; e a taxa de regressão linear, para o Setor Praia de Itapoá e seus subsetores.



5 CONCLUSÃO

A partir das análises da evolução da linha de costa foi possível observar que os pontos críticos de avanço e retração coincidem com as extremidades das praias adjacentes aos promontórios, como no caso dos costões direitos da Praia da Enseada e da Praia do Forte; com as desembocaduras de rios, como por exemplo o Palmital e o que limita as praias da Enseada e Ubatuba; e com a desembocadura de pequenas lagoas formadas nas planície costeira, como as que notamos no Setor da Praia de Itapoá.

Ainda no Setor da Praia de Itapoá, foi possível observar entre 1957 e 1978, um acentuado avanço na porção entre os transectos 215 e 230 e retração na porção mais ao norte, entre os transectos 192 e 212. Esses pontos críticos podem ser explicados pela presença de um banco de areia formado na extremidade mais oeste da linha de costa (26°11'S 48°35'W Figura 11), um pontal adjacente a desembocadura da Baía da Babitonga. Esse banco de areia, provavelmente, serviu de armadilha para o sedimento. Ele coincidi com o ponto de inflexão no padrão de deposição costeira/pluvial do Setor. Influenciando esse padrão, existem variáveis sazonais e em diferentes escalas de tempo, frequência e intensidade, i.e. altura, período e direção das ondas, ventos, maré, índice pluviométrico, entre outros; e que podem atuar concomitantemente o que torna extremamente difícil identificar o evento ou condição que favoreça a deposição de sedimento em determinado setor, ou desencadeia o processo de erosão. Vale ressaltar, que apesar de facilmente notável a presença desse banco de areia no mosaico de imagens de 1978, distorções e dificuldade de georeferenciamento devido a ausência de pontos fixos e qualidade das imagens de 1957 que aumentaram significativamente o EQM desse setor (11,31 m) são ruídos que podem dificultar a interpretação da nossa análise.

Podemos observar claramente o padrão geral de transporte de sedimento sentido norte, e, concluir que 1978 foi um "divisor de águas" entre um período deposicional seguido por um erosivo. O que pode ser explicado pela maior frequência nos trabalhos de dragagem do canal de entrada do Porto de São Francisco do Sul. Todavia, muito cuidado devemos ter ao interpretar esses dados, influências externas ao sistema, como o aporte de sedimento continental via Canal do Palmital e outros pequenos riachos, e eventos naturais extremos, são ruídos que podem dificultar a análise dos dados.

Apesar das aerofotos abrangerem uma área maior que o que as imagens de satélite elas são mais susceptíveis a deformações nas extremidades e possuem qualidade reduzida devido a tecnologia de captura e armazenamento dessas imagens. Além disso a falta de

estruturas fixas em comum com a ortofoto de 2010 dificultou o georeferenciamento das aerofotos de 1957 e 1978, o que devemos considerar na análise dos resultados.

O DSAS é uma poderosa ferramenta de morfodinâmica costeira, oferecendo uma grande quantidade de dados de fácil análise, que podem corroborar com outras técnicas em estudos mais detalhados. A capacidade de classificar um padrão de comportamento e anomalias está intimamente ligada a frequência dos dados e a heterogeneidade dos setores a serem analisados.

No entanto, o uso do DSAS na calibração de modelos matemáticos de transporte de sedimento demanda uma atenção minuciosa em todas as entradas e saídas do sistema. Aproximações de volumes de entrada e saída, a ciclicidade e a sazonalidade dos eventos, o uso da ferramenta DSAS comparando praias com feições distintas e a estabilidade do sistema, são pontos que merecem uma melhor análise.

REFERÊNCIAS

- AB RAZAK, M. S. BIN. **Natural Headland Sand Bypassing**. 2015.
- ABREU, J. J. DE. **Transporte sedimentar longitudinal e morfodinâmica praias : exemplo do litoral norte de Santa Catarina**, 2011. Universidade Federal de Santa Catarina.
- APSFS, Autoridade Portuária Porto de São Francisco do Sul. Disponível em: <<http://www.apsfs.sc.gov.br/>>. Acesso em: 5/11/2017.
- ARAUJO, R. S.; SILVA, G. S.; FREITAS, D.; KLEIN, A. H. F. ANÁLISE DA VARIAÇÃO DA LINHA DE COSTA ATRAVÉS DE FERRAMENTAS DE GEOPROCESSAMENTO E SENSORIAMENTO REMOTO. In: J. Alcántara Carrió; I. Montoya Montes; I. D. Correa Arango (Orgs.); **Métodos en teledetección aplicada a la prevención de riesgos naturales en el litoral**. v. 10, p.438, 2013. Madrid: Servicio de Publicaciones del Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED).
- ARMENIO, E.; SERIO, F. DE; MOSSA, M.; NOBILE, B.; PETRILLO, A. F. Investigation on coastline evolution using long-term observations and numerical modelling. , p. 1556–1564, 2017.
- BASTOS, L.; BIO, A.; PINHO, J. L. S.; GRANJA, H.; JORGE DA SILVA, A. Dynamics of the Douro estuary sand spit before and after breakwater construction. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 109, p. 53–69, 2012. Elsevier Ltd.
- CAMFIELD, F. E.; MORANG, A. Defining and interpreting shoreline change. **Ocean and Coastal Management**, v. 32, n. 3, p. 129–151, 1996.
- COSTA, W. L. L. **Dinâmica do transporte de sedimentos na porção norte da ilha de São Francisco do Sul, SC**, 2016. Universidade Federal de Santa Catarina.
- CROWELL, M.; LEATHERMAN, S. P.; BUCKLEY, M. K. Shoreline Change Rate Analysis: Long Term Versus Short Term Data. **Shore and Beach**, v. 61, n. 2, p. 13–20, 1993.
- DOLAN, R.; FENSTER, M. S.; HOLME, S. J. Temporal Analysis of Shoreline Recession and Accretion. **Journal of Coastal Research**, v. 7, n. 3, p. 723–744, 1991. Coastal Education & Research Foundation, Inc.
- FARRIS, A. S.; LIST, J. H. Shoreline Change as a Proxy for Subaerial Beach Volume Change. **Journal of Coastal Research**, v. 233, p. 740–748, 2007.
- FGDC-STD (FEDERAL GEOGRAPHIC DATA COMMITTEE). **Geospatial positioning accuracy standards (part 3): National Standard for Spatial Data Accuracy**. Washington, DC, 1998.
- FILHO, N. H. H. Setorização da Província Costeira de Santa Catarina em base aos aspectos geológicos, geomorfológicos e geográficos. **Geosul**, v. 18, n. 35, p. 71–98, 2003.
- GEORGE, D. A.; LARGIER, J. L.; STORLAZZI, C. D.; BARNARD, P. L. Classification of rocky headlands in California with relevance to littoral cell boundary delineation. **Marine Geology**, v. 369, p. 137–152, 2015. Elsevier B.V.

HSU, J. R. C.; EVANS, C. Parabolic crenulate shaped bays and applications. **Proc. Inst of Civ. Eng.**, v. 87, p. 557–570, 1989.

KLEIN, A. H. DA F.; MENEZES, J. T. DE; DIEHL, F. L.; et al. Santa Catarina - Litoral Centro Norte. **Erosão e Progradação do Litoral Brasileiro**. p.401–436, 2006.

KLEIN, A. H. DA F.; PRADO, M. F. V.; DALINGHAUS, C.; CAMARGO, J. M. Metodologia para quantificação de perigos costeiros e projeção de linhas de costa futuras como subsídio para estudo de adaptação das zonas costeiras: Litoral norte da Ilha de Santa Catarina e entorno. In: Ministério do Meio Ambiente (Org.); **Ministério do Meio Ambiente**. v. 1, p.206, 2015. Brasília.

KLEIN, A. H. F.; FERREIRA, Ó.; DIAS, J. M. A.; et al. Morphodynamics of structurally controlled headland-bay beaches in southeastern Brazil: A review. **Coastal Engineering**, v. 57, n. 2, p. 98–111, 2010. Elsevier B.V.

KOMAR, P. D. **CRC Handbook of Coastal Processes and Erosion**. Boca Raton, FL: CRC Press, 1983.

LIRA, C. P.; SILVA, A. N.; TABORDA, R.; ANDRADE, C. F. DE. Coastline evolution of Portuguese low-lying sandy coast in the last 50 years: An integrated approach. **Earth System Science Data**, v. 8, n. 1, p. 265–278, 2016.

MARANHÃO, M. O. A. **Análise da variação espaço temporal das linhas de costa sob influencia dos canais de maré da Baía Babitonga, Rio Acarai, Rio Cubatão e Canal do Siriu, SC**, 2011. Universidade do Vale do Itajaí.

PORPILHO, D. **Análise da sedimentologia, variação da linha de costa e perfil praias de Itapoá-SC, Brasil**, 2012. Universidade do Vale do Itajaí.

RAMLI, A. Y.; LANGE, W. DE; BRYAN, K.; MULLARNEY, J. Coupled Flow-Wave Numerical Model in Assessing the Impact of Dredging on the Morphology of Matakana Banks. **Australian Coast & Ports Conference**, , n. 2, p. 6, 2015.

RIJIN, L. VAN. **Principles of Coastal Morphology**. Amsterdam: Aqua Publications, 1998.

SCHETTINI, C. A.; CARVALHO, J. L. **CARACTERIZAÇÃO HIDRODINÂMICA DO ESTUÁRIO DO RIO CUBATÃO, JOINVILLE**. Itajaí, 1999.

SCHWARTZ, M. L. The Bruun Theory of Sea-Level Rise as a Cause of Shore Erosion. **The Journal of Geology**, v. 75, n. 1, p. 76–92, 1967. The University of Chicago Press.

SERAFIM, C. F. S.; HAZIN, F. O ecossistema costeiro. **Geografia : o mar no espaço geográfico brasileiro**, 2005. Brasília.

SHORT, A. D.; MASSELINK, G. Embayed and structurally controlled beaches. In: A. D. Short (Org.); **Handbook of beach and shoreface morphodynamics**. p.230–250, 1999. Willey.

SILVA, C. M. DA; KLEIN, A. H. D. F.; ALMEIDA, L. E. S. B. DE. Effect of planform

equilibrium state in the sedimentology of headland bay beaches. **Journal of Coastal Research**, v. 2004, n. 39, p. 692–696, 2006.

SILVA, G. V. DA; MULER, M.; PRADO, M. F. V.; et al. Shoreline Change Analysis and Insight into the Sediment Transport Path along Santa Catarina Island North Shore, Brazil. **Journal of Coastal Research**, v. 320, n. 1999, p. 863–874, 2016.

SILVEIRA, L.; BENEDET, L.; SIGNORIN, M.; BONANATA, R.; CATARINA, S. EVALUATION OF THE RELATIONSHIPS BETWEEN NAVIGATION CHANNEL DREDGING São Francisco do Sul Harbor is located in Santa Catarina State , Southern Brazil , inside the Babitonga Bay (Figure 1). It is one of the main container-ship ports in Brazil and has been. , p. 1–15, 2012.

SOUZA, M. C. DE. Mapeamento da planície costeira e morfologia e dinâmica das praias do município de Itapoá, Estado de Santa Catarina: subsídios à ocupação. , p. 169, 1999.

SOUZA, M. C. DE; ANGULO, R. J.; PESSEDA, L. C. R. Evolução paleogeográfica da planície costeira de itapoá, litoral norte de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 31, n. 2, p. 223–230, 2001.

SUTIKNO, S.; MURAKAMI, K.; HANDOYO, D. P.; FAUZI, M. Calibration of Numerical Model for Shoreline Change Prediction Using Satellite Imagery Data. **Makara Journal of Technology**, v. 19, n. 3, p. 113, 2015.

TESSLER, M. G.; GOYA, S. C. Y. Processos costeiros condicionantes do litoral brasileiro. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 17, n. January 2005, p. 11–23, 2005.

THIELER, E. R. **User Guide & Tutorial for the Digital Shoreline Analysis System**. 2005.

THIELER, E. R.; BRILL, A. L.; CLEARY, W. J.; HOBBS, C. H.; GAMMISCH, R. A. Geology of the Wrightsville Beach, North Carolina shoreface: Implications for the concept of shoreface profile of equilibrium. **Marine Geology**, v. 126, n. 1, p. 271–287, 1995.

THIELER, E. R.; HIMMELSTOSS, E. A.; ZICHICHI, J. L.; ERGUL, A. **The Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 4.0—An ArcGIS extension for calculating shoreline change**. 2009.

TRUCCOLO, E. C. **MARÉ METEOROLÓGICA E FORÇANTES ATMOSFÉRICAS LOCAIS EM SÃO FRANCISCO DO SUL, SC**, 1998. Universidade Federal de Santa Catarina.

TRUCCOLO, E. C.; SCHETTINI, C. A. F. Marés Astronômicas Na Baía Da Babitonga , SC. **Notas Téc. Facimar**, v. 3, p. 57–66, 1999.

VIEIRA, C. V. **Evolução paleogeográfica da planície costeira do extremo norte da ilha de São Francisco do Sul, Santa Catarina, Brasil**, 2015. Universidade Federal de Santa Catarina.

APÊNDICE

Tabela 7 - Média das variações das LCs de cada setor por período.

Período SETOR	Média / Desvio (m.ano ⁻¹)	TODOS	1957 1978	1978 2010	2010 2011	2011 2014	2014 2016
Itapoá	μ	-1,34	0,82	-1,29	-5,99	1,45	-1,95
	σ	5,39	2,41	1,32	9,35	3,69	2,98
Norte	μ	-2,68	-0,14	-0,42	-12,70	2,01	-2,06
	σ	6,85	1,38	0,52	9,47	2,24	1,60
Centro- Norte	μ	-0,86	0,46	-2,25	-0,71	0,91	-2,69
	σ	4,66	2,38	1,24	7,02	5,15	4,02
Centro *	μ	-0,13	2,21	-1,25	-3,11	1,38	-0,60
	σ	3,19	2,67	1,33	3,99	2,50	2,27
Capri / Forte	μ	-3,24	-0,15	-0,05	-10,92	-7,42	3,26
	σ	24,39	4,21	2,29	33,60	9,69	38,59
Enseada / Ubatuba	μ	-1,53	0,65	-0,79	-4,24	-0,36	-2,97
	σ	10,07	2,91	1,99	17,65	9,66	8,85
Itaguaçu	μ	-2,71	1,12	-0,85	-15,75	7,00	-5,14
	σ	8,28	0,61	0,36	6,81	2,16	2,68
Pier **	μ	-2,94	-	0,18	-7,66	0,64	-3,83
	σ	4,17	-	0,37	3,11	0,86	3,15
Prainha	μ	-0,78	0,46	-1,05	1,26	-2,29	-2,28
	σ	3,21	0,74	0,34	6,07	2,37	1,44
Grande	μ	-2,50	0,28	-0,53	-9,20	-0,12	-2,45
	σ	5,44	0,95	0,77	7,39	2,62	4,12
Norte	μ	-2,82	-0,18	-0,06	-7,59	-1,55	-4,72
	σ	5,53	0,53	0,25	9,16	2,66	4,43
Centro	μ	-2,39	0,48	-0,62	-12,94	1,31	-0,19
	σ	5,79	1,15	0,90	4,21	1,62	2,04
Sul	μ	-1,75	0,84	-1,34	-4,73	-	-
	σ	3,34	10,87	0,78	4,15	-	-

* O Subsetor Sul da Praia Grande não possui dados referentes a 2014, os valores observados são referentes aos períodos de (1956-1978, 1978-2010, 2010-2011);

** Como o Pier não havia sido contruído em 1956; os valores observados nesse Setor são referentes aos períodos de (1978-2010, 2010-2011, 2011-2014, 2014-2016).

Figura 16 - LCs, linha base e transectos gerados pelo DSAS no Seor da Praia Grande; subsector Centro.

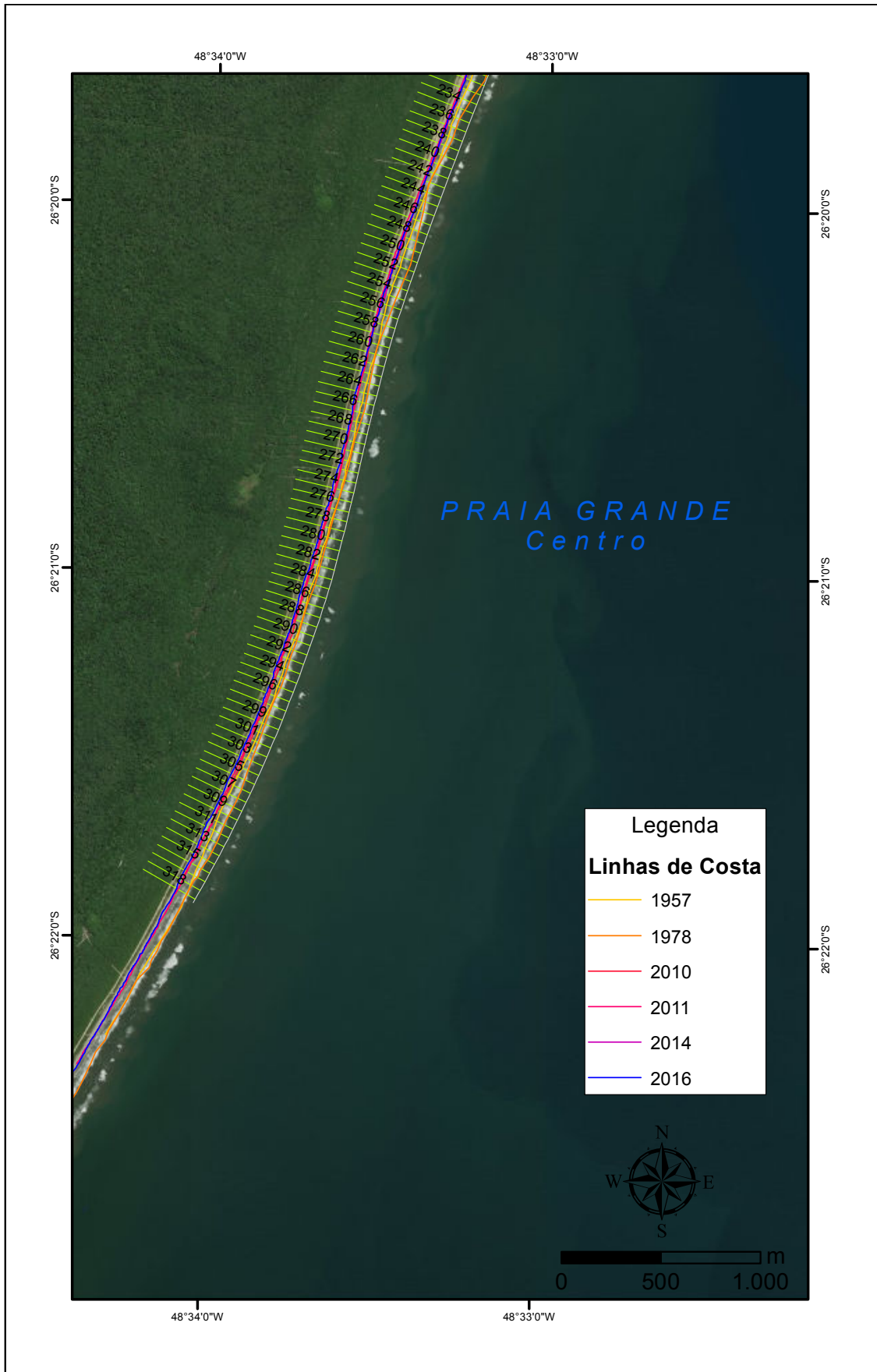


Figura 17 - LCs, linha base e transectos gerados pelo DSAS no Setor da Praia Grande; subsector Centro-norte.

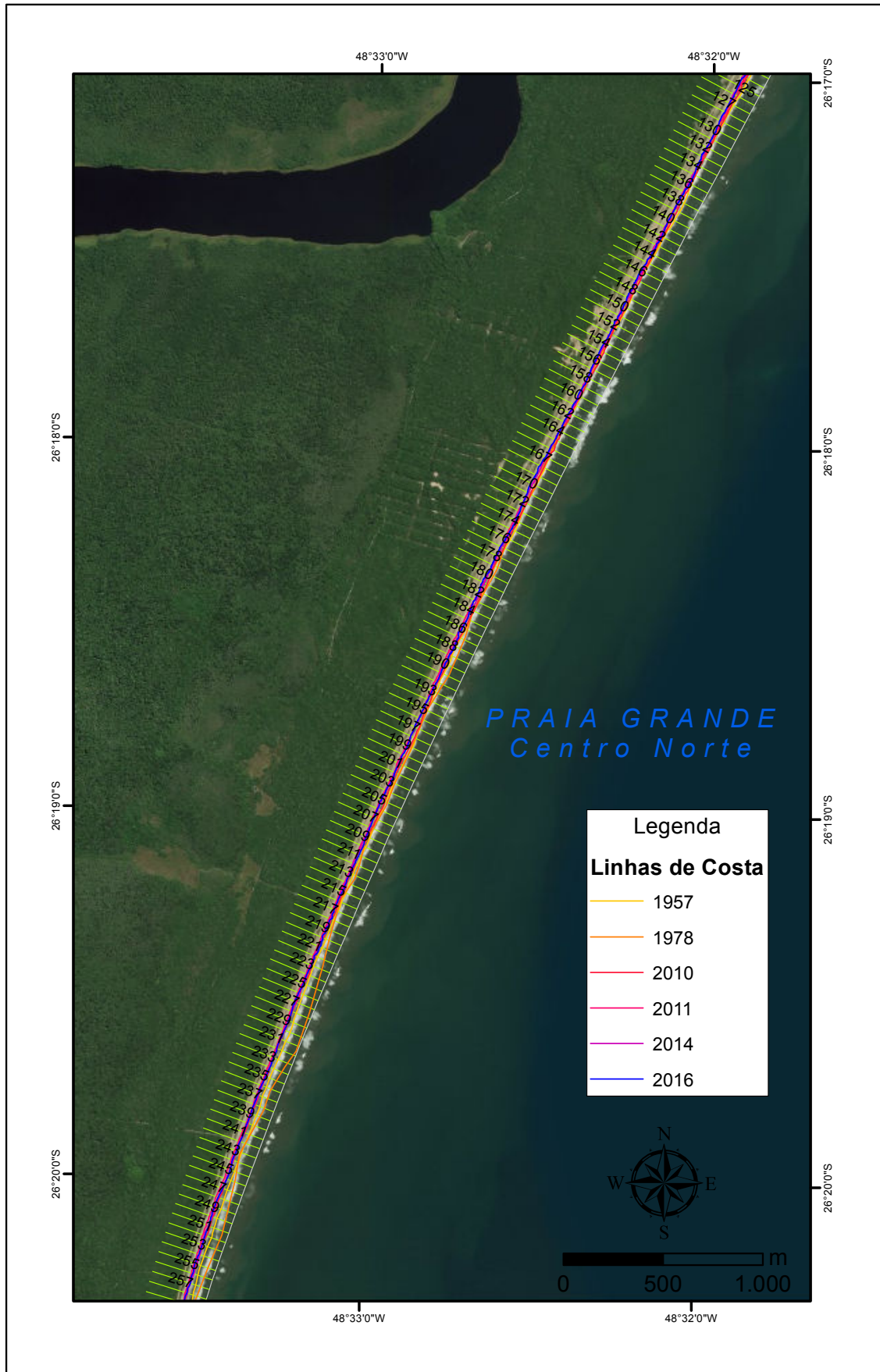


Figura 18 - LCs, linha base e transectos gerados pelo DSAS no Setor da Praia Grande; subsetor Norte.

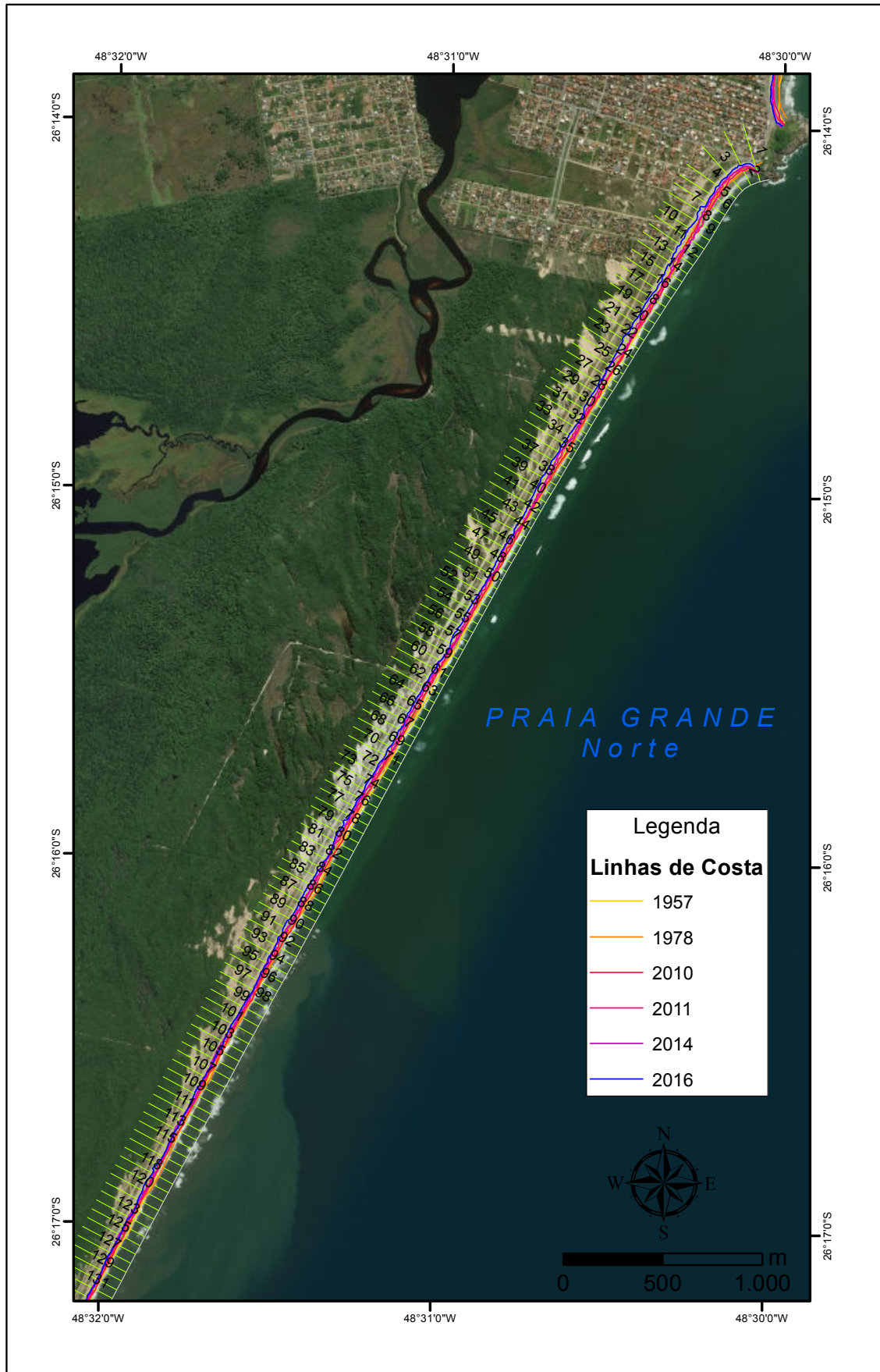


Figura 19 - LCs, linha base e transectos gerados pelo DSAS nos Setores da Prainha e Pier.

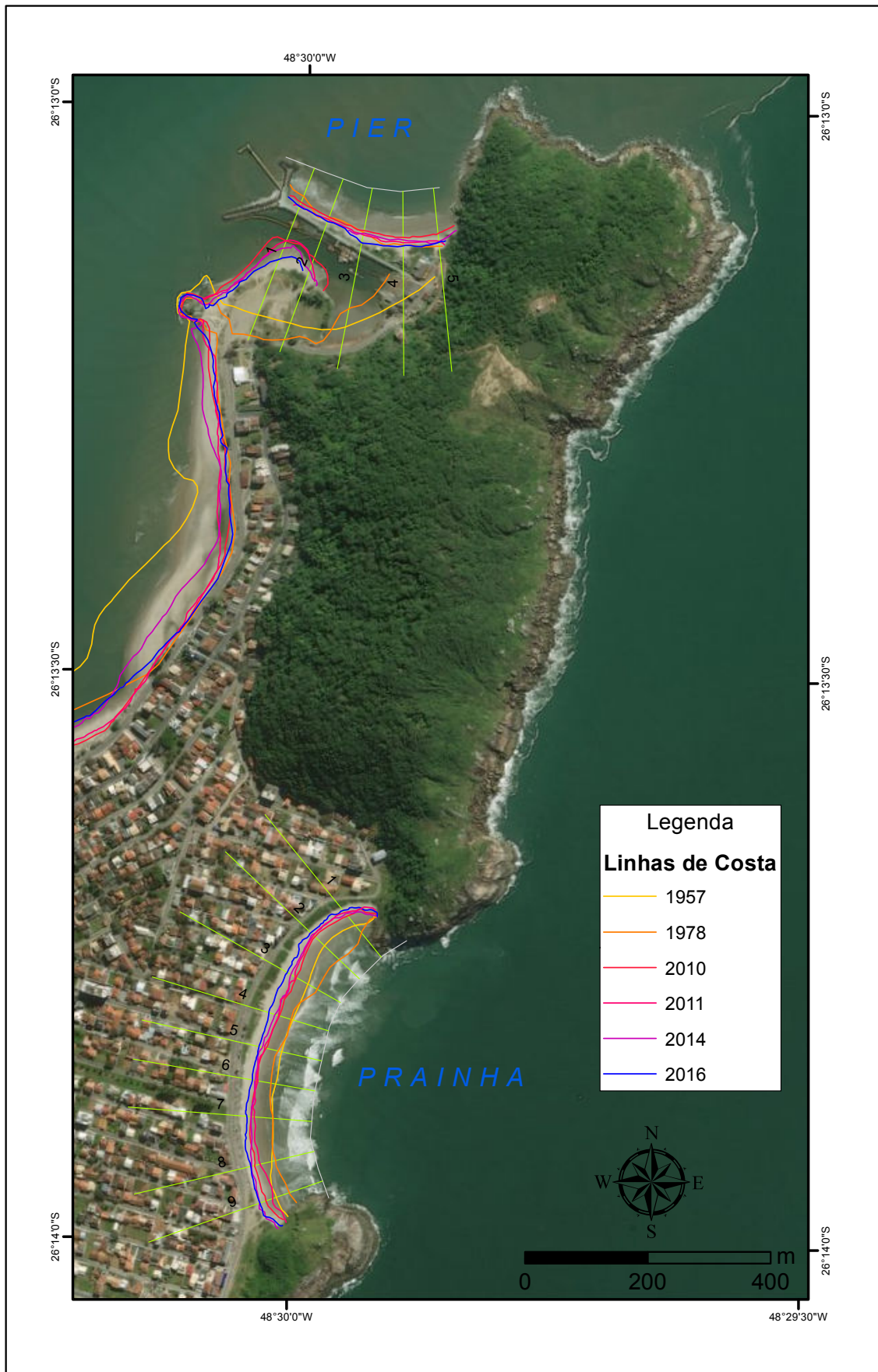
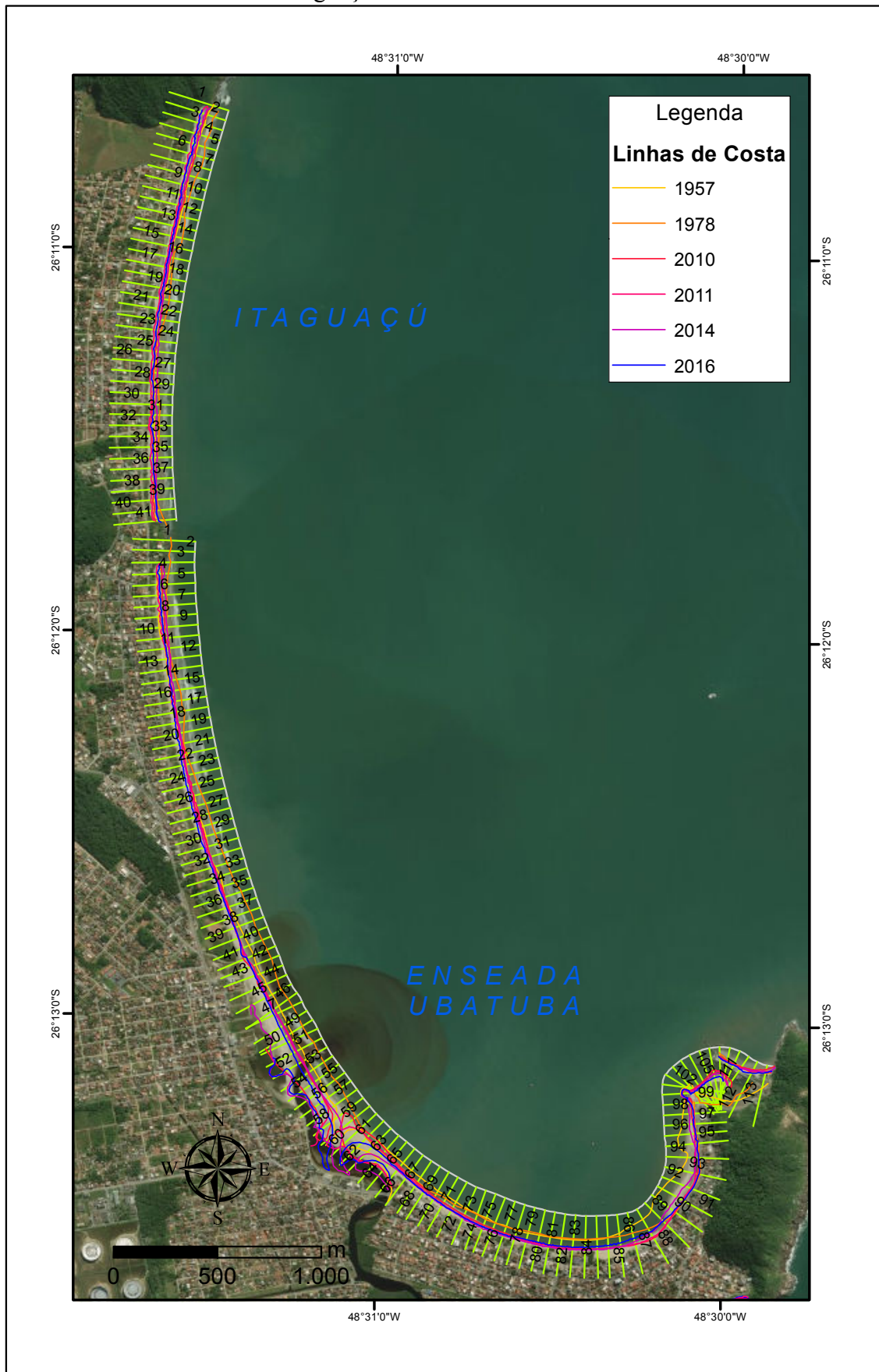


Figura 20 - LCs, linha base e transectos gerados pelo DSAS nos Setores da Praia da Enseada/Ubatuba e Praia de Itaguaçu.



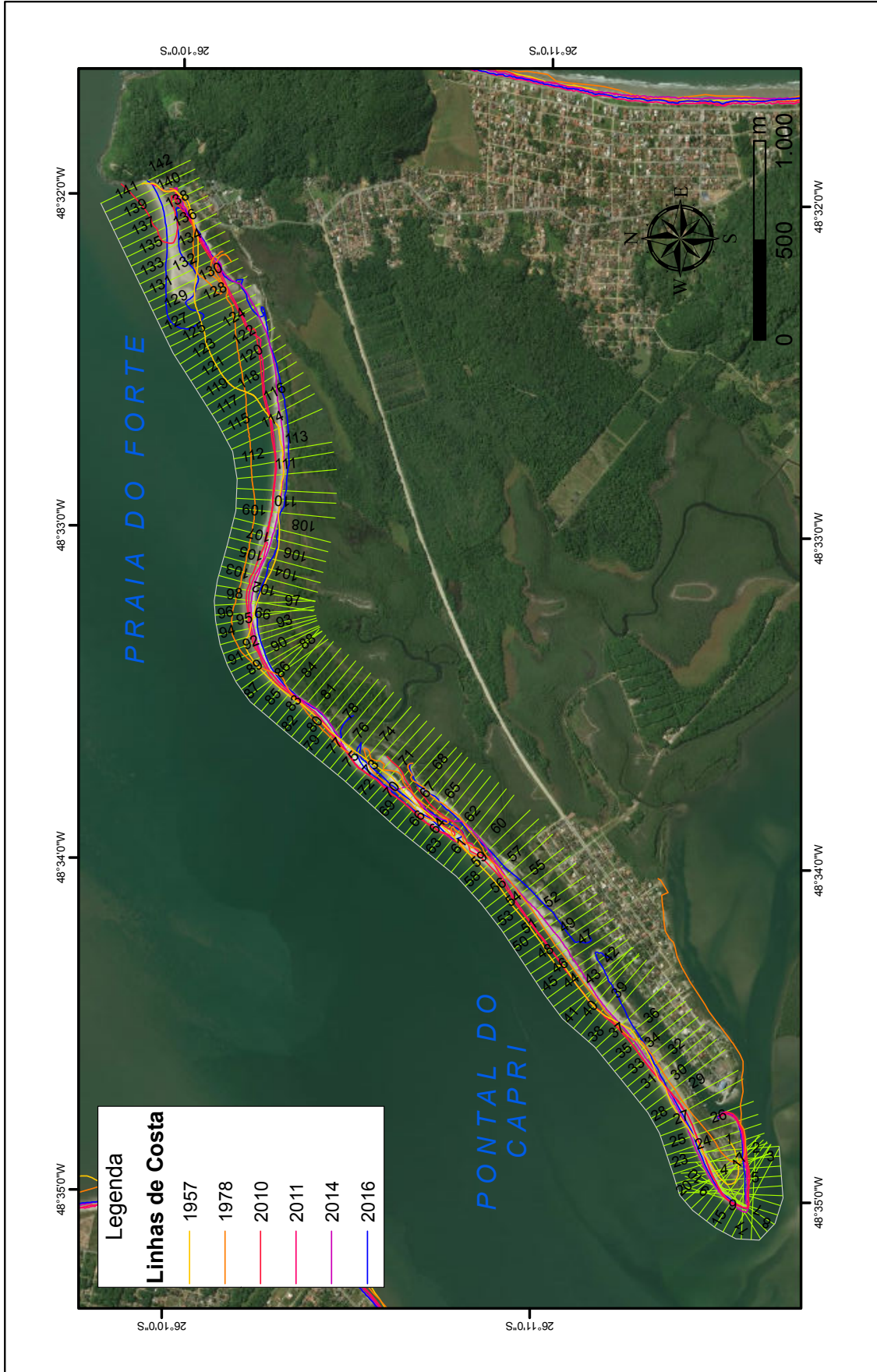


Figura 21 - LCs, linha base e transectos gerados pelo DSAS no Setor Pontal do Capri.

Figura 22 - LCs, linha base e transectos gerados pelo DSAS no Setor da Praia de Itapoá, subsetor Centro-Sul

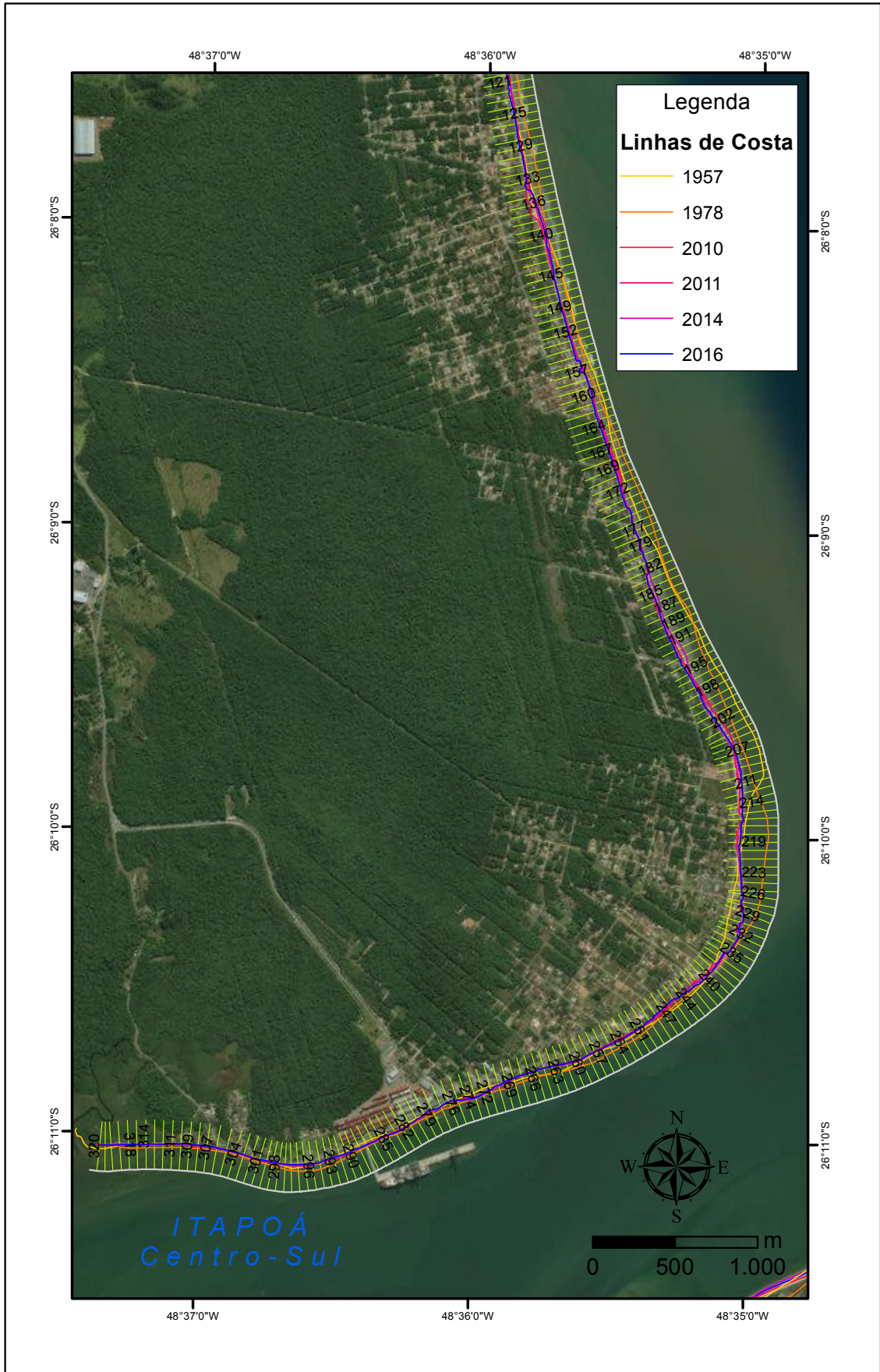


Figura 23 - LCs, linha base e transectos gerados pelo DSAS no Setor da Praia de Itapoá, subsetor Norte

