



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA

VALIDAÇÃO DAS RAZÕES Sr/Ca, Mg/Ca E Ba/Ca ENCONTRADAS NO ESQUELETO DE
Mussismilia braziliensis VERRILL 1868 COMO INDICADORES DA TEMPERATURA DA
SUPERFÍCIE DO MAR NA COSTA DA BAHIA, BRASIL

por

MARIA CRISTINA RABELLO SANTEDICOLA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Submetida para satisfação parcial dos requisitos ao grau de

MESTRE EM CIÊNCIAS
GEOLOGIA

à

Câmara de Ensino de Pós-Graduação e Pesquisa
da
Universidade Federal da Bahia

Aprovado:	Comissão Examinadora:
.....	Dr. Ruy Kenji Papa de Kikuchi (Orientador)
.....	Dra. Zelinda Margarida de Andrade Nery Leão, IGEO/UFBA
.....	Dr. Alexandre Barreto Costa, IF/UFBA
Data da aprovação: .../.../.....	Grau conferido em .../.../.....

RESUMO

O objetivo deste estudo foi validar as razões Sr/Ca, Mg/Ca e Ba/Ca encontradas no esqueleto do coral *Mussismilia braziliensis* Verrill 1868 como indicadores geoquímicos (*proxy*) da temperatura da superfície do mar (TSM), utilizando 310 amostras de dois testemunhos denominados CAB2 e CLE, coletados respectivamente nas estações CLE (Pedra de Leste; latitude 17°47'173"S, longitude 39°02'935" W; 12km costa afora) e CAB (Parcel de Abrolhos; latitude 17°57'528"S, longitude 38°39'342"W; 80 km costa afora), onde a variação anual da TSM é de cerca de 4°C e a taxa de extensão linear desta espécie de coral é 0,89cm/ano. Após um estudo piloto realizado com 17 amostras para adaptar a metodologia, identificar a melhor vidraria, instrumentos de corte e peso seco, 144 amostras do esqueleto coralino foram cortadas a cada 2mm ao longo do eixo de crescimento de 4 testemunhos perfurados em 2003. As amostras foram moídas e a matéria orgânica foi eliminada com H₂O₂. Dez miligramas de cada amostra foram decompostas, adicionando-se gradualmente 10 mL de HNO₃ 0,5M, e analisadas com ICP-OES. As amplitudes obtidas foram 4553-8194 ppm para Sr, 203-2260 ppm para Mg e 0-17 ppm para Ba. Razões geoquímicas normalizadas foram comparadas com médias normalizadas da TSM obtidas desde 1985, em horário noturno, pelo satélite AVHRR Pathfinder Versão 5.0 NOAA, em intervalos anuais e semestrais. As razões geoquímicas analisadas neste estudo se referem a 144 amostras compatíveis com o período de registro de dados da TSM por este satélite. Uma redução progressiva da razão Sr/Ca desde aproximadamente 1948 encontrada no testemunho CAB-2 poderia ser traduzida como aumento da TSM. Além de comparar series contemporâneas de dados geoquímicos e da TSM, aplicou-se uma defasagem (*lag*) no pareamento dos dados anuais e semestrais, a fim de investigar possíveis efeitos tardios da TSM sobre a maior disponibilidade destes elementos durante a esqueletogênese coralina. Os achados deste estudo sugerem que as razões Mg/Ca podem ser utilizadas como indicadores da TSM em exemplares coletados distantes da costa, ao passo que as razões Ba/Ca e Sr/Ca podem ser utilizadas como indicadores da TSM em exemplares coletados em locais próximos à costa. A aplicação da defasagem sugere aproximadamente quatro a seis meses como o tempo ótimo para o efeito tardio da TSM acima mencionado.

Palavras-chave: Sr/Ca, Mg/Ca, Ba/Ca, TSM (temperatura da superfície do mar), coral *M. braziliensis*, Abrolhos, geotermômetros.

ABSTRACT

The aim of this study was to validate Sr/Ca, Mg/Ca and Ba/Ca ratios in skeletons of the coral *Mussismilia braziliensis* (Verrill 1868) as SST (sea surface temperature) proxies, by analyzing 310 samples from coral cores labelled as CAB2 and CLE, respectively drilled at the sites CLE (Pedra de Leste; latitude 17°47'173"S, longitude 39°02'935" W; 12km offshore) and CAB (Parcel de Abrolhos; latitude 17°57'528"S, longitude 38°39'342"W; 80 km offshore), where the yearly SST variation is around 4°C and the average growth rate for that species is 0,89cm/year. Upon completion of a 17-sample pilot study to customize the methodology, 144 samples of coral skeleton were cut at every 2mm along the maximum growth axis of two different cores drilled in 2003. Samples were ground, and organic matter eliminated with H₂O₂. Ten milligrams of each sample were decomposed by gradually adding 10 mL of HNO₃ 0,5M, and analyzed with an ICP-OES. The ranges obtained were 4553-8194 ppm for Sr, 203-2260 ppm for Mg and 0-17 for Ba. A progressive reduction of Sr/Ca minima at CAB-2, since approximately 1948 could be translated as SST increase. Normalized Sr/Ca, Mg/Ca and Ba/Ca ratios averages were compared to normalized average SST nighttime temperature data acquired since 1985 by the satellite AVHRR Pathfinder Version 5.0 NOAA, considering yearly and half-yearly time intervals. The geochemical ratios addressed by this study refer to 144 samples, which estimated growth time range is compatible with SST data acquisition by such satellite. In addition to comparing contemporary geochemical and SST data series, a lag was applied to yearly and semi-yearly time intervals, in order to investigate the existence of possible delayed effects of SST over the increased availability of such elements during the coralline skeletogenesis. Findings suggest that Mg/Ca may be used as SST proxy in samples collected distant from the coast, while Ba/Ca and Sr/Ca may be used as SST proxy in samples collected near the coast. The application of lag suggest approximately four to six months as the optimum time for the delayed SST effect mentioned above.

Keywords: Sr/Ca, Mg/Ca, Ba/Ca, SST (sea surface temperature), coral *M. braziliensis*, Abrolhos, geothermometers.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Luciano e Marilena, pela oportunidade de reencarnar novamente neste planeta e pelo amor incondicional que transcende o tempo e o espaço; aos meus avós Carmine e Anna Domenica, Antonio e Amerina, exemplos de recomeço e persistência; aos tios Gildenor, Dalva, Gissélia, José Hazenclève, Angelo Gabriele, Antonietta, Orienta, Giovanni, Nicola, Concetta e Mariagiovana; Lygia e Wolfgang Gutman, pelo apoio e estímulo; aos meus irmãos Ana Gabriela, Bruno, Maria Elisa, Gina, Maria Lúcia e Luciano Antonio Filho, cuja presença física ou espiritual enriquecem a minha vida; aos meus filhos Sara, Ciro e Débora, presentes de Deus nesta jornada terrena; aos demais familiares cuja listagem é impossível em tão pouco espaço;

Aos pesquisadores (e cobaias) envolvidos nas pesquisas destinadas a prevenir, detectar, curar ou controlar enfermidades; aos profissionais de saúde que aplicam os resultados destas pesquisas, combinados com competência e compaixão, especialmente Alexandre Mascarenhas Villela, André Luiz Barreto Cunha, Ângela Maria Costa Lessa, Balbina da Silva Lemos, Carlos Sampaio Filho, Durval Moreira Senna, Edson Diniz Gonçalves, Gildete Sales Lessa e equipe, Heonir Rocha, Ilka Rondinelli, Jacques Tabacoff, Marco Antonio Cardoso de Almeida, Maria Auxiliadora Machado Lopes Pereira, Miguel Ângelo Rodrigues Brandão, Nadja Publio, Nelson Barros, Patrícia Mascarenhas Villela, Paulo César Pinheiro Feitosa, Samira Braga Grimaldi, Sérgio Santana Filho, Tatiana Gil Portugal e Zenilda de Fátima Guimarães Amaral.

Aos bacharéis de Direito Carlos Eugênio Queiroz de Castro e José Milton de Aquino Miranda, a quem serei eternamente grata pela perseverante e exitosa luta por uma liminar judicial que me garantiu o acesso à assistência médica para debelar um teimoso linfoma e, conseqüentemente, a todos momentos maravilhosos que a Vida generosamente continua a me proporcionar;

A todos profissionais de educação que iluminaram a minha vida, especialmente Alzira Barretto Oliveira, Edna Pinheiro, Francis White, Frei Mariano de Inhambupe, Leticia Scardini Scott Faria, Mário Moreira, Ligia Paraguassú Batista e Tereza Nery;

A todos amigos e amigas que estiveram e estão presentes nos momentos mais importantes da minha vida, especialmente Ana Rúbia Silveira, Ângela Maria Braga, Antonia da Conceição Santana, Alejandro Arber, Carla Souza, Carmen Pereira, Charles Lingerfelt, Círia Gomes, Deirdre Strechan, Eduardo Brandão, Elzi França, Diogo Themudo, Ilka Rondinelli, José Lázaro Farias de Araújo, João Celestino da Silva, Jose de Codes, Jose Mas-Jordan, Lisa Slavick, Nair Domingues, Núbia Menezes Figueiredo, Michael Jonas e Shirlene Correia.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Ruy Kenji Papa de Kikuchi, pela oportunidade de estar novamente em contato com os corais e com a Geologia; à Prof. Dr. Zelinda Andrade Nery Leão, pelo trabalho pioneiro e inspirador; ao Prof. Dr. Herbet Conceição e Prof. Dr. Maria de Lourdes Rosa e Silva pela possibilidade de utilização do Laboratório de Plasma do Instituto de Geociências da UFBA;

A todos que dedicaram seus talentos e tempo às atividades de laboratório, especialmente à Mestre Mônica Pringsheim da Cunha, Doutor Basílio Elesbão da Cruz Filho, Mestre Ricardo Nascimento Almeida, Geol. Priscila Martins Gonçalves, Geogr. Alexandre Santos Magalhães; graduandos em Oceanografia Ricardo Marques Domingues e Carlos Valério Mendonça Filho; Raulina Barbosa Miranda, nosso “socorro divino” nos intermináveis processos de descontaminação da vidraria utilizada na fase de laboratório;

A Gilzélío Reis Nascimento, Nilton da Silva e Maria Conceição Azevedo, funcionários e ex-funcionária da Secretaria do Colegiado de Pós Graduação em Geologia;

Aos demais docentes, pesquisadores e funcionários do Instituto de Geologia e do Centro de Pesquisa em Geologia e Geofísica da Universidade Federal da Bahia.

DEDICATÓRIA

Ao Criador
e
à Vida, em todas as suas manifestações.

ÍNDICE

RESUMO	
ABSTRACT	
AGRADECIMENTOS	i
DEDICATÓRIA	ii
ÍNDICE	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	v
ÍNDICE DE TABELAS	viii
ÍNDICE DE QUADROS	ix
ÍNDICE DE APÊNDICES	x
DEFINIÇÕES E ACRÔNIMOS	xi
1. INTRODUÇÃO	13
1.1 Objetivo	16
1.1.1 Objetivo Geral.....	16
1.1.2 Objetivos Específicos	16
2. ÁREA DE ESTUDO.....	18
2.1 Localização	18
2.2 Morfologia dos Recifes	19
2.3 Clima e Parâmetros Oceanográficos.....	20
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	21
3.1 Aspectos Ecológicos, Taxonômicos e Morfológicos dos Corais Hermatípicos	21
3.2 Contribuição dos Corais Hermatípicos aos Estudos Astronômicos e Estratigráficos ..	25
3.3 Bandamento e Recuperação de Registros de Alta Resolução	27
3.4 Principais Estudos Paleoclimáticos Conduzidos com Corais Hermatípicos	28
3.4.1 Principais Gêneros e Áreas Geográficas Estudadas	29
3.4.2 Razões Geoquímicas, Razões Isotópicas e Fluorescência	29
3.4.2.1 Sr/Ca e Mg/Ca	31
3.4.2.2 U/Ca, B/Ca e F/Ca	32
3.4.2.3 Ba/Ca, Cd/Ca e Mn/Ca	33
3.4.2.4 Razão Isotópica $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ($\delta^{18}\text{O}$)	33
3.4.2.5 Razão Isotópica $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ($\delta^{13}\text{C}$)	34
3.4.2.6 Fluorescência sob UV	35
4 MATERIAL E MÉTODO	36
4.1 Estudo Piloto para Adequação de Método	36
4.2 Estudo Principal - Trabalho de Laboratório	37
4.2.1 Corte e Moagem	38
4.2.2 Descontaminação Orgânica com H_2O_2 e Redução de Volume sobre Placa Aquecedora	38
4.2.3 Secagem e Pesagem	38
4.2.4 Preparação de Soluções e Leitura no ICP-OES	39
4.2.5 Limpeza e Descontaminação de Vidraria	40
4.2.6 Equipe de Laboratório	40
4.3 Trabalho de Escritório	41
4.3.1 Dados da TSM (Temperatura da Superfície do Mar).....	41
4.3.2 Recebimento de Leituras do ICP-OES, Análise de Consistência e Interpolação de Dados	42
4.3.3 Transformação em mmol/mol e Cálculo das Razões Sr/Ca, Mg/Ca e Ba/Ca	42
4.3.4 Critérios para Determinação de Ciclos Anuais e Semestrais com Base na Diagramação das Razões Geoquímicas.....	42
4.3.5 Tratamento Estatístico dos Dados Geoquímicos e da TSM.....	44

5. RESULTADOS	47
<i>Estudo Piloto</i>	47
<i>Estudo Principal</i>	49
5.1 <i>Intervalo Anual</i>	50
5.1.1 <i>Sr/Ca – Visão Geral</i>	51
5.1.1.1 <i>CAB-2</i>	54
5.1.1.2 <i>CLE</i>	58
5.1.2 <i>Mg/Ca – Visão Geral</i>	63
5.1.2.1 <i>CAB-2</i>	65
5.1.2.2 <i>CLE</i>	68
5.1.3 <i>Ba/Ca – Visão Geral</i>	73
5.1.3.1 <i>CAB-2</i>	75
5.1.3.2 <i>CLE</i>	78
5.2 <i>Intervalo Semestral</i>	82
5.2.1 <i>Sr/Ca – Visão Geral</i>	83
5.2.1.1 <i>CAB-2</i>	84
5.2.1.2 <i>CLE</i>	86
5.2.2 <i>Mg/Ca – Visão Geral</i>	89
5.2.2.1 <i>CAB-2</i>	90
5.2.2.2 <i>CLE</i>	92
5.2.3 <i>Ba/Ca – Visão Geral</i>	95
5.2.3.1 <i>CAB-2</i>	96
5.2.3.2 <i>CLE</i>	98
5.3 <i>Taxa de Extensão Linear e Sr/Ca Médio nos Ciclos Anuais em CAB-2 x CLE</i>	104
6. DISCUSSÃO	106
7. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES	111
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	113

ÍNDICE DE FIGURAS

No.	Pg.
2.1 Mapa de situação da área de estudo e localização das estações de coleta	19
2.2 Principais tipos de recifes na região de Abrolhos	20
3.1 Cnidária: formas corpóreas	22
3.2 Cnidária: cnidócitos e cnidas	23
3.3 Diversidade dos zoantários	24
3.4 Vista esquelética coralina em meso-escala	25
4.1 Identificação de ciclos geoquímicos (Testemunho Hipotético)	43
4.2 Exemplo de análise de comportamento entre as séries geoquímicas e TSM	45
4.3 Fluxograma do pareamento de dados geoquímicos x TSM	45
5.1 Estudo Piloto Sr/Ca	47
5.2 Estudo Piloto Mg/Ca	48
5.3 Estudo Piloto Ba/Ca	48
5.1.1. Comparação da razão Sr/Ca medida em CAB-2 e CLE	51
5.1.1.1 Sr/Ca medida em CAB-2 e ciclos geoquímicos	55
5.1.1.1.a Sr/Ca versus TSM em CAB-2	56
5.1.1.1.b Sr/Ca versus TSM (com defasagem) em CAB-2	56
5.1.1.1.c Dispersão de dados - Sr/Ca versus TSM em CAB-2	57
5.1.1.1.d Dispersão de dados - Sr/Ca versus TSM (com defasagem) em CAB-2	57
5.1.1.2 Sr/Ca medida em CLE e ciclos geoquímicos	58
5.1.1.2.a Sr/Ca versus TSM em CLE	59
5.1.1.2.b Sr/Ca versus TSM (com defasagem) em CLE	59
5.1.1.2.c Dispersão de dados - Sr/Ca versus TSM em CLE	60
5.1.1.2.d Dispersão de dados - Sr/Ca versus TSM (com defasagem) em CLE	60
5.1.1.e Sr/Ca x TSM Anual, Pareamento Contemporâneo, Testemunhos CAB2 e CLE	61
5.1.1.f Sr/Ca x TSM Anual, Pareamento Defasado, Testemunhos CAB2 e CLE	61
5.1.2 Comparação da razão Mg/Ca medida em CAB-2 e CLE	63
5.1.2.1 Mg/Ca medida em CAB-2 e ciclos geoquímicos	65
5.1.2.1.a Mg/Ca versus TSM em CAB-2	66
5.1.2.1.b Mg/Ca versus TSM (com defasagem) em CAB-2	66
5.1.2.1.c Dispersão de dados - Mg/Ca versus TSM em CAB-2	67
5.1.2.1.d Dispersão de dados - Mg/Ca versus TSM (com defasagem) em CAB-2	67
5.1.2.2 Mg/Ca medida em CLE e ciclos geoquímicos	68
5.1.2.2.a Mg/Ca versus TSM em CLE	69
5.1.2.2.b Mg/Ca versus TSM (com defasagem) em CLE	70
5.1.2.2.c Dispersão de dados - Mg/Ca versus TSM em CLE	70
5.1.2.2.d Dispersão de dados - Mg/Ca versus TSM (com defasagem) em CLE	71
5.1.2.e Mg/Ca x TSM Anual, Pareamento Contemporâneo, Testemunhos CAB2 e CLE	72
5.1.2.f Mg/Ca x TSM Anual, Pareamento Defasado, Testemunhos CAB2 e CLE	72
5.1.3 Comparação da razão Ba/Ca medida em CAB-2 e CLE	73

ÍNDICE DE FIGURAS (Continuação)

5.1.3.1	Ba/Ca medida em CAB-2 e ciclos geoquímicos	75
5.1.3.1.a	Ba/Ca <i>versus</i> TSM em CAB-2	76
5.1.3.1.b	Ba/Ca <i>versus</i> TSM (com defasagem) em CAB-2	76
5.1.3.1.c	Dispersão de dados - Ba/Ca <i>versus</i> TSM em CAB-2	77
5.1.3.1.d	Dispersão de dados - Ba/Ca <i>versus</i> TSM (com defasagem) em CAB-2	77
5.1.3.2	Ba/Ca medida em CLE e ciclos geoquímicos	78
5.1.3.2.a	Ba/Ca <i>versus</i> TSM em CLE	79
5.1.3.2.b	Ba/Ca <i>versus</i> TSM (com defasagem) em CLE	79
5.1.3.2.c	Dispersão de dados - Ba/Ca <i>versus</i> TSM em CLE	80
5.1.3.2.d	Dispersão de dados - Ba/Ca <i>versus</i> TSM (com defasagem) em CLE	80
5.1.3.e	Ba/Ca x TSM Anual, Pareamento Contemporâneo, Testemunhos CAB2 e CLE	81
5.1.3.f	Ba/Ca x TSM Anual, Pareamento Defasado, Testemunhos CAB2 e CLE	81
5.2.1.1.a	Sr/Ca <i>versus</i> TSM em CAB-2	84
5.2.1.1.b	Sr/Ca <i>versus</i> TSM (com defasagem) em CAB-2	84
5.2.1.1.c	Dispersão de dados - Sr/Ca <i>versus</i> TSM em CAB-2	85
5.2.1.1.d	Dispersão de dados - Sr/Ca <i>versus</i> TSM (com defasagem) em CAB-2	85
5.2.1.2.a	Sr/Ca <i>versus</i> TSM em CLE	86
5.2.1.2.b	Sr/Ca <i>versus</i> TSM (com defasagem) em CLE	86
5.2.1.2.c	Dispersão de dados - Sr/Ca <i>versus</i> TSM em CLE	87
5.2.1.2.d	Dispersão de dados - Sr/Ca <i>versus</i> TSM (com defasagem) em CLE	87
5.2.1.e	Sr/Ca x TSM Semestral, Pareamento Contemporâneo, Testemunhos CAB-2 e CLE	88
5.2.1.f	Sr/Ca x TSM Semestral, Pareamento Defasado, Testemunhos CAB-2 e CLE ..	88
5.2.2.1.a	Mg/Ca <i>versus</i> TSM em CAB-2	90
5.2.2.1.b	Mg/Ca <i>versus</i> TSM (com defasagem) em CAB-2	90
5.2.2.1.c	Dispersão de dados - Mg/Ca <i>versus</i> TSM em CAB-2	91
5.2.2.1.d	Dispersão de dados - Mg/Ca <i>versus</i> TSM (com defasagem) em CAB-2	91
5.2.2.2.a	Mg/Ca <i>versus</i> TSM em CLE	92
5.2.2.2.b	Mg/Ca <i>versus</i> TSM (com defasagem) em CLE	92
5.2.2.2.c	Dispersão de dados - Mg/Ca <i>versus</i> TSM em CLE	93
5.2.2.2.d	Dispersão de dados - Mg/Ca <i>versus</i> TSM (com defasagem) em CLE	93
5.2.2.e	Mg/Ca x TSM Semestral, Pareamento Contemporâneo, Testemunhos CAB-2 e CLE	94
5.2.2.f	Mg/Ca x TSM Semestral, Pareamento Defasado, Testemunhos CAB-2 e CLE	94
5.2.3.1.a	Ba/Ca <i>versus</i> TSM na em CAB-2	96
5.2.3.1.b	Ba/Ca <i>versus</i> TSM (com defasagem) em CAB-2	96
5.2.3.1.c	Dispersão de dados - Ba/Ca <i>versus</i> TSM em CAB-2	97
5.2.3.1.d	Dispersão de dados - Ba/Ca <i>versus</i> TSM (com defasagem) em CAB-2	97

ÍNDICE DE FIGURAS (Continuação)

5.2.3.2.a	Ba/Ca <i>versus</i> TSM em CLE	98
5.2.3.2.b	Ba/Ca <i>versus</i> TSM (com defasagem) em CLE	98
5.2.3.2.c	Dispersão de dados - Ba/Ca <i>versus</i> TSM em CLE	99
5.2.3.2.d	Dispersão de dados - Ba/Ca <i>versus</i> TSM (com defasagem) em CLE	99
5.2.3.e	Ba/Ca x TSM Semestral, Pareamento Contemporâneo, Testemunhos CAB-2 e CLE	100
5.2.3.f	Ba/Ca x TSM Semestral, Pareamento Defasado, Testemunhos CAB-2 e CLE.	100
5.3.1	Taxa Extensão Linear CAB-2 x CLE (Base Sr/Ca)	104
5.3.2	Razões Sr/Ca Médias CAB-2 x CLE	105

ÍNDICE DE TABELAS

No.		Pg.
5.1.1	Visão geral dos ciclos da razão Sr/Cas em CAB-2 e CLE	53
5.1.2	Visão geral dos ciclos da razão Mg/Ca em CAB-2 e CLE	64
5.1.3	Visão geral dos ciclos da razão Ba/Ca em CAB-2 e CLE	74
5.2.1	Visão geral dos ciclos da razão Sr/Cas em CAB-2 e CLE	83
5.2.2	Visão geral dos ciclos da razão Mg/Ca em CAB-2 e CLE	89
5.2.3	Visão geral dos ciclos da razão Ba/Ca em CAB-2 e CLE	95

ÍNDICE DE QUADROS

No.		Pg.
3	Sumário dos compostos químicos nos esqueletos coralinos e seus fatores ambientais correlatos (Mitsuguchi, 2000)	30
4.1	Taxa de extensão das bandas anuais, distância até o topo e peso bruto – CLE-1-C, Estudo Piloto	37
4.2.4.a	Número de amostras dos testemunhos CAB-2 e CLE	40
4.2.4.b	Amplitude temporal baseada na extensão linear encontrada no Estudo Piloto (0,86cm/ano)	40
4.2.6	Memória de cálculo de hora/homem – Fase de Laboratório	41
5.1	Médias Anuais da TSM	50
5.2	Médias Semestrais da TSM	82
5.3	Resumo de Todos Pareamentos entre Sr/Ca e TSM	101
5.4	Resumo de Todos Pareamentos entre Mg/Ca e TSM	102
5.5	Resumo de Todos Pareamentos entre Ba/C e TSM	103
6.a	Comparação das concentrações de Sr, Mg e Ba do Estudo Piloto, Principal e Mitsuguchi (2000)	107
6.b	Histórico ENSO	110

ÍNDICE DE APÊNDICES

No.		Pg.
1	Médias mensais de temperatura, Satélite Pathfinder NOAA	117
2	Leituras das razões geoquímicas em CLE-1-C, Estudo Piloto, ICP-OES	124
3	Leituras das razões geoquímicas em CAB-2, ICP-OES	125
4	Leituras das razões geoquímicas em CLE (Principal), ICP-OES	129
5	Ciclos Geoquímicos (Imagens Ampliadas)	130

DEFINIÇÕES E ACRÔNIMOS

Águas Costeiras	Faixa de água compreendida entre a praia e a borda externa da plataforma continental (<i>continental shelf</i>), onde as propriedades físicas e químicas são mais ou menos influenciadas pelas águas provenientes da área continental adjacente (Suguio, 1998).
Belamnite	Nome comum para uma ordem de cefalópodes que viveu em ambientes marinhos do Carbonífero ao Cretáceo. Este fóssil é representado por seu esqueleto interno em forma de bastão e, portanto, o seu corpo deveria ser semelhante ao das lulas (Suguio, 1998).
Ciclicidade	Qualidade ou estado de cíclico (Michaelis, 1998).
Coral hermatípico	Designação coletiva para corais que vivem agrupados em mares com temperatura entre 25 e 30°C e salinidade entre 27 e 40%, em profundidades geralmente menores que 50 m (limite máximo de cerca de 90 m). Este grupo de corais apareceu no Ordoviciano e no Siluriano já formava recifes com corais dos tipos Tabulata e Rugosa. Antigamente pensava-se que grande parte dos recifes era formada por corais, porém hoje em dia considera-se que os organismos predominantes nessas estruturas sejam as algas calcárias. Sinônimos: coral de recife e coral construtor de recife (Suguio, 1998).
DHN	Diretoria de Hidrografia e Navegação, Ministério da Marinha do Brasil.
ENSO	<i>El Niño Southern Oscillation</i> .
Escleroderma	Tecido duro do esqueleto dos corais (Michaelis, 1998).
Geotermômetro	<i>Vide</i> Termômetro Geológico.
GBR	<i>Great Barrier Reef</i> – Grande Barreira de Recifes da Austrália.
ID-TIMS	<i>Isotope Dilution – Thermal Ionization Mass Spectrometry</i> - Espectrometria de Massa por Ionização Térmica.
ICP-OES	<i>Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometer</i> / Espectrômetro de Emissão Ótica com Plasma Acoplado por Indução.
IMP-MS	<i>Ion Microprobe Spectrometry</i> - Espectrometria por Micro Sonda Iônica.
IRMS	<i>Isotope Ratio Mass Spectrometer</i> – Espectrômetro para Determinação de Razões Isotópicas
LA-ICP-MS	<i>Laser Ablation Inductively-Coupled Plasma Mass Spectrometer</i> - Espectrômetro de Massa - Ablação a Laser com Plasma Indutivamente Acoplado.
LASER	<i>Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation</i> (Microsoft® Bookshelf 1998).

NOAA	<i>National Oceanographic and Atmospheric Administration</i> - Administração Nacional Oceanográfica e Atmosférica, EUA.
PDB	<i>Pee Dee Belamnite</i> .
RFA	Rádio Farol de Abrolhos.
Segregar	Afastar, isolar, apartar, separar; FISILOGIA: emitir ou expelir o produto da secreção (Michaelis, 1998).
SMOW	<i>Standard Mean Ocean Water</i> – Padrão Médio da Água do Oceano.
Termômetro geológico	Espécie mineral ou associação mineral, de condições genéticas bem conhecidas, que permitem inferir temperaturas pretéritas de formação. Há casos em que se usam isótopos ou substâncias carbonosas, como no caso da Petrologia do Carvão (Suguio, 1998).
TSM	Temperatura da Superfície do Mar (<i>SST – Sea Surface Temperature</i>): temperatura medida a 1 metro abaixo da superfície do mar. (http://www.csc.noaa.gov/crs/cohab/hurricane/sst.htm acessado 26/06/07).
Varve	Lâmina ou camada delgada (em geral milimétrica até poucos centímetros) de sedimento ou sedimentito de granulação fina (siltico-argilosa), com estrutura diadática mais ou menos marcada por uma porção inferior mais grossa (areia fina a silte grosso) de cor mais clara e superior mais fina (silte fino a argila) de cor mais escura. As varves representam o resultado da sedimentação rítmica, frequentemente depositada por correntes de turbidez, sendo comuns em lagos periglaciais, onde cada par de lâminas de verão (clara) e de inverno (escura) representa um ano. Existem também varves marinhas, mas desconhece-se, nestes casos, a duração ou a periodicidade. Sinônimo: camada anual. (Suguio, 1998)

1. INTRODUÇÃO

O debate mundial sobre as mudanças climáticas renovou o interesse na análise do esqueleto carbonático dos corais, o qual é um arquivo natural dos parâmetros ambientais da água do mar onde vivem. Registros paleoclimáticos corretamente datados e com resolução trimestral são capazes de revelar mudanças sutis na TSM (Temperatura da Superfície do Mar), variabilidade do regime de chuvas e evaporação no ciclo anual, aspectos que em conjunto fornecem indicações sobre mudanças em larga escala ocorridas no oceano e atmosfera tropicais (Gagan *et al.* 2000). Este interesse é justificado pelo fato dos corais viverem na região tropical do planeta (entre 20° N e 20° S), para a qual praticamente não existem registros climáticos que ultrapassem os 100 últimos anos.

Para entender as variações climáticas além deste período de tempo coberto por registros instrumentais, os pesquisadores tentam substituir, ou obter indicadores (*proxies*) de registros ambientais em sedimento, em gelo ou em partes de organismos que permitem um estudo contínuo de propriedades químicas ou isotópicas do seu tecido. Os processos geológicos e biológicos que produzem esses registros ambientais *proxy* (ver Bradley & Jones 1992), compartilham algumas características comuns como:

- Preservam informações sobre as condições ambientais pretéritas de forma a permitir a datação em anos;
- As informações podem ser recuperadas e interpretadas como variações ambientais; e
- A confiabilidade dos dados pode ser testada e, idealmente, comparada com outras fontes de informações, permitindo assim a elaboração de princípios e procedimentos para recuperação rotineira de informações ambientais.

Os testemunhos de gelo e a dendrologia fornecem registros importantes do clima pretérito das regiões temperadas ou polares do planeta. Entretanto, o sistema tropical oceano-atmosfera conta com escassos registros climáticos indicadores (*proxy*) de alta resolução, tornando altamente importante o desenvolvimento de procedimentos para a recuperação rotineira de registros ambientais que sejam indicadores confiáveis a partir dos corais. Alguns fatores aumentam ainda mais a importância potencial dos registros coralinos: (1) os trópicos compõem aproximadamente a metade da superfície da Terra e formam principalmente a “máquina de aquecimento” que direciona o clima mundial; (2) nos trópicos ocorre o fenômeno ENSO (*El Niño Southern Oscillation*), uma das mais importantes fontes conhecidas da variação climática em curto prazo; e (3) o entendimento atual das variações registradas no sistema tropical oceano-atmosfera, tanto em décadas como em escalas de tempo mais longas, é extremamente limitado (Barnes & Lough, 1996).

Os esqueletos corálinos são ricos em informações ambientais. Temperaturas antigas podem muitas vezes ser inferidas numa precisão menor que 1° C analisando-se o teor de estrôncio (Sr), magnésio (Mg), urânio (U) e oxigênio-18 (¹⁸O), assim como as densidades esqueléticas e as suas taxas de crescimento. Descargas fluviais, ressurgências oceânicas e outras condições hidrográficas deixam suas marcas em vários metais traços, ¹⁴C, ácidos húmicos e partículas de argila incorporadas aos esqueletos. Algumas vezes o ¹³C esquelético reflete a nebulosidade. As atividades humanas afetam estes parâmetros, a exemplo do teor de chumbo (Pb). Estes indicadores ambientais tornam-se especialmente úteis no contexto de esqueletos dispostos em camadas acrescidas seqüencialmente como no caso dos corais, com excelente controle cronológico. Os instrumentos de datação radiométrica tiveram um grande desenvolvimento nos corais e bons cronômetros estão agora disponíveis na maioria das escalas de tempo. Muitos corais contêm também bandas anuais reconhecíveis, a exemplo de anéis de árvores, e muitos produzem bandas diárias (Cohen & McConnaughey, 2003), refletindo, assim, a tendência da Natureza se expressar em ciclos.

O recife de coral provavelmente é o produto de biomineralização mais espetacular do planeta. Estes ecossistemas grandes e complexos são construídos sobre detritos acumulados, deixados por inúmeras gerações de organismos, especialmente algas calcárias e foraminíferos simbiontes, além dos corais. As algas produzem a maior parte da massa do recife e ajudam a cimentá-la, ao passo que os corais constroem a maior parte da estrutura resistente à erosão. Os recifes de corais dominam a maior parte da linha de costa tropical e cobrem cerca de 15% do fundo oceânico com profundidade igual ou inferior a 30 m (Smith 1979).

Quando comparado a outros materiais, a exemplo de sedimentos do fundo marinho ou testemunhos de gelo, o esqueleto corálino é o único meio para reconstrução da variabilidade paleo-ambiental em escalas de tempo que variam de meses a séculos (Mitsuguchi 2000).

O fenômeno do branqueamento dos corais detectado a partir da década iniciada em 1990 renovou o debate sobre os impactos antropogênicos que afetam os ecossistemas marinhos. A distinção entre mudanças ambientais não naturais *versus* variações ambientais naturais e o entendimento da variabilidade ambiental natural requerem registros mais longos do que os melhores registros instrumentais atualmente disponíveis. Registros climáticos instrumentais cobrindo aproximadamente os 100 últimos anos são os nossos mais antigos e melhores registros das condições ambientais pretéritas. Tais registros mostram uma elevação de 0,5 °C na temperatura média global, embora a extensão da série temporal seja muito curta para se determinar com certeza se tal mudança é resultado das atividades humanas. As mudanças climáticas futuras geradas pelo homem se sobreporão às mudanças naturais do sistema climático, portanto precisamos entender como e porque o clima variou no passado, a fim de entender como ele poderá variar no futuro (Barnes & Lough, 1996).

Uma alta prioridade nas pesquisas envolvendo corais é produzir indicadores quantitativos de aspectos climáticos específicos que possam ser integrados a outros dados paleoclimáticos de alta resolução, como os derivados dos anéis de crescimento das árvores, testemunhos de gelo e sedimentos do tipo varvitos. Os índices climáticos gerados através desta rede de registros climáticos (*proxy*) podem então ser comparados com resultados de modelos climáticos. Os corais podem contribuir de maneira importante para o entendimento do clima através da reconstrução da variabilidade climática durante períodos de tempo com histórico de mudanças climáticas, a exemplo do Último Máximo Glacial e meados do Holoceno. Pelo menos dois atributos encontrados nos corais fósseis fazem deles instrumentos particularmente bem adequados para a definição dos limites naturais e da sensibilidade do clima tropical. O primeiro atributo se refere ao fato de que os corais têm capacidade de marcar mudanças dentro do ciclo anual, permitindo que condições do sistema oceano-atmosfera sejam reconstruídas com relação a estações específicas. Dados paleoclimáticos com resolução trimestral são essenciais para a reconstrução de sistemas climáticos dinâmicos, a exemplo do ENSO, das monções e das ressurgências oceânicas geradas por dinâmica eólica. O segundo aspecto reside na possibilidade de se obter datações de corais fósseis com erros inferiores a 1% em amostras com idades variando de 100 a 200.000 anos (Edwards *et al.* 1987). Os pares (*couplets*) do bandamento de densidade, ou traçadores geoquímicos com variação anual, podem então ser utilizados para se obter o controle de tempo trimestral para as cronologias individuais “flutuantes”. Estes conjuntos de dados serão particularmente úteis para o entendimento da sensibilidade dos processos climáticos à mudança climática global (Gagan *et al.*, 1998).

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Validar a utilização das razões Sr/Ca, Mg/Ca e Ba/Ca no esqueleto da espécie *Mussismilia braziliensis* como indicadores geoquímicos de temperatura da superfície do mar na costa tropical brasileira, contribuindo para o seu estabelecimento como ferramentas de reconstrução dos parâmetros oceanográficos e climáticos nesta região.

1.1.2 Objetivos Específicos/Metas

- (1) Verificar se as razões entre estrôncio (Sr) e cálcio (Ca), magnésio (Mg) e cálcio (Ca), bário (Ba) e cálcio (Ca) encontradas nos testemunhos CAB-2 e CLE mostram ciclicidade anual ou semestral, a exemplo do que ocorre com o bandamento de densidade dos corais;
- (2) Verificar se tal ciclicidade (caso ocorra) se comporta de modo similar nos dois testemunhos deste estudo, cujos locais de coleta são diferentes: próximo e distante da costa;
- (3) Analisar o comportamento destas razões geoquímicas diante das variações da TSM (temperatura da superfície do mar); e
- (4) Testar a existência de efeitos tardios da temperatura sobre a maior disponibilidade dos elementos Sr, Mg e Ba durante a esqueletogênese.

Esta dissertação está dividida em oito capítulos. O primeiro capítulo aborda um breve histórico do tema e os objetivos do presente estudo. A área de estudo é apresentada no segundo capítulo, seguida da fundamentação teórica no terceiro capítulo. O quarto capítulo aborda material e método para os estudos piloto e principal; o estudo piloto foi realizado em 2006 para adequação da metodologia, cujos resultados foram apresentados no III Simpósio Brasileiro de Oceanografia, no Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo (USP) em dezembro de 2006, na forma de pôster e o respectivo artigo foi aceito para publicação no livro Oceanografia e Mudanças Globais (ISBN-978-85-98729-24-4). Os resultados do estudo piloto e do estudo principal estão descritos no quinto capítulo, incluindo a diagramação dos gráficos e dispersões de dados obtidos para todas as comparações feitas entre as séries de dados geoquímicos e da temperatura a superfície do mar, assim como gráficos que ilustram o resumo dos comportamentos encontrados entre as séries geoquímicas e da TSM nos intervalos anual e semestral; quadros com resumos gerais destes comportamentos estão incluídos ao final do quinto capítulo. O sexto capítulo traz uma discussão dos resultados encontrados, ao passo que a conclusão e as recomendações estão descritas no sétimo capítulo. O oitavo capítulo traz as referências bibliográficas. As médias mensais da TSM e os dados geoquímicos obtidos no presente estudo estão incluídos nos Apêndices. O formato desta dissertação segue as normas da Revista Brasileira de Geologia, conforme Procedimentos do Curso de Pós-

Graduação em Geologia publicados em Fevereiro de 2006 e disponíveis no site <http://www.pggeologia.ufba.br/site/>.

2. ÁREA DE ESTUDO

2.1 Localização

O Banco de Abrolhos é um alargamento da plataforma continental leste brasileira, o qual, de norte para sul inicia na foz do rio Jequitinhonha na Bahia até próximo à foz do rio Doce, no Espírito Santo. Enquanto que na altura da cidade de Caravelas a plataforma estende até cerca de 200 km, no restante da costa ela tem largura média de 50 km (Oliveira, 2007).

Os recifes de corais de Abrolhos estão situados na costa sudeste do estado da Bahia, próximo aos municípios de Alcobaça e Caravelas, entre as latitudes 17°20' - 18°10' S e longitudes 38°35' - 39°20' W (Figura 2.1), e são os maiores e os mais ricos recifes de corais do oceano Atlântico Sul Ocidental (Laborel 1969, Leão 1982). Eles estão dispostos paralelos à linha de costa, ao longo de dois arcos: o arco interno, também denominado de arco costeiro, situado entre 10 e 20 km da costa, e o arco externo, que bordeja o lado leste das ilhas do Arquipélago dos Abrolhos, dista cerca de 80 km da costa (Figura 2.1).

A plataforma continental onde os recifes estão localizados apresenta profundidades inferiores a 30 m e na borda da plataforma as profundidades não ultrapassam 70 m. O ângulo de inclinação do talude é da ordem de 0° 08'. Entre os recifes do arco costeiro e a costa as profundidades são inferiores a 15 m. Dois canais principais com orientação NE-SW cortam o complexo recifal de Abrolhos. O canal de Abrolhos com profundidades entre 20 e 30 m separa os recifes do arco costeiro dos recifes do arquipélago e do arco externo (Figura 2.1) e o canal de Sueste separa os recifes do Parcel das Paredes da costa (Figura 2.1).

As estações de coleta denominadas CLE (Pedra de Leste; latitude 17° 47'173"S, longitude 39° 02'935"S) e CAB (Parcel de Abrolhos; latitude 17° 57'528"S, longitude 38° 39'342"S) ilustradas na Figura 2.1 compõem a área de estudo. A primeira estação dista cerca de 12 km da costa e integra o arco interno, ao passo que a segunda estação dista aproximadamente 80 km da costa e integra o arco externo. Os testemunhos analisados neste estudo integram um conjunto de testemunhos coletados na região de Abrolhos em novembro de 2003. A seleção de uma estação próxima à costa e outra distante da mesma foi norteada por um dos objetivos específicos do estudo, ou seja, verificar se as razões Sr/Ca, Mg/Ca e Ba/Ca apresentam comportamento similar em corais sujeitos a diferentes condições ambientais, notadamente à maior turbidez da

coluna

d'água.

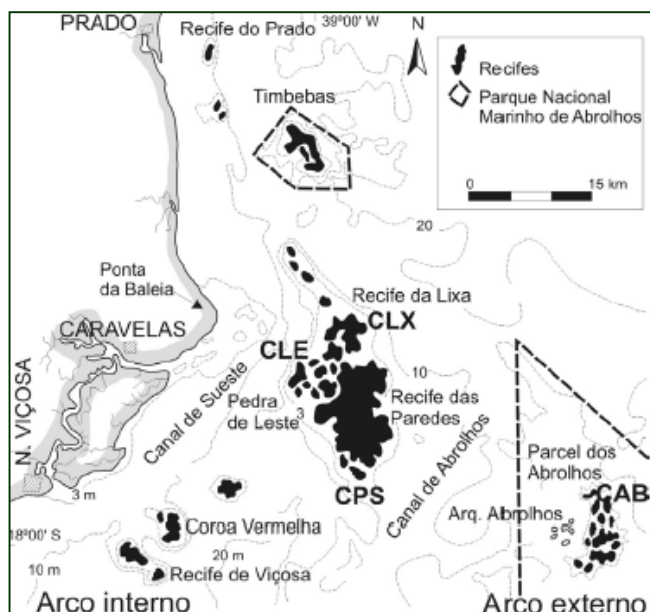


Figura 2.1 - Mapa de situação da área de estudo e localização das estações de coleta (adaptado de Leão e Kikuchi, 2001)

A área de estudo encontra-se, em parte, no domínio do primeiro parque marinho nacional criado pelo governo federal através do Decreto nº 88.218 de 06 de abril de 1983; a área descontínua deste parque totaliza 98 mil hectares quadrados (aproximadamente 266 milhas náuticas quadradas), no litoral sul da Bahia.

2.2 Morfologia dos Recifes

De acordo com Leão *et al.* (2003), os recifes de corais na costa da Bahia podem ser classificados em quatro tipos diferentes (Figura 2.2): a- **bancos recifais adjacentes à praia**, que são estruturas descontínuas com forma variável, normalmente alongados e paralelos à linha de costa. Geralmente não excedem a mais de 5 km de extensão; b- **bancos recifais isolados afastados da costa**, que apresentam diversas formas (irregulares, alongadas, circulares, semi-arcs) e dimensões horizontais variando cerca de 50 m a poucas dezenas de quilômetros. Suas alturas, acima da superfície do fundo marinho, variam de cerca de 10 m (bancos rasos) a mais de 20 m (bancos profundos). A maior parte desses bancos exibe um platô plano, que foi truncado durante o abaixamento do nível relativo do mar, o que favoreceu o crescimento lateral do topo do recife ao invés do seu desenvolvimento vertical; c- **recifes em franja**, mais ou menos contínuos, bordejam as ilhas presentes na região, seu substrato é o embasamento das ilhas; d) **pináculos coralinos**, que podem ser de dois tipos: 1) colunar, quando apresentam o diâmetro menor

ou equivalente à sua base; 2) chapeirões, termo introduzido por Hartt (1870), apresenta a base mais estreita que o topo, podendo ser o topo até três vezes mais largo do que a sua base.

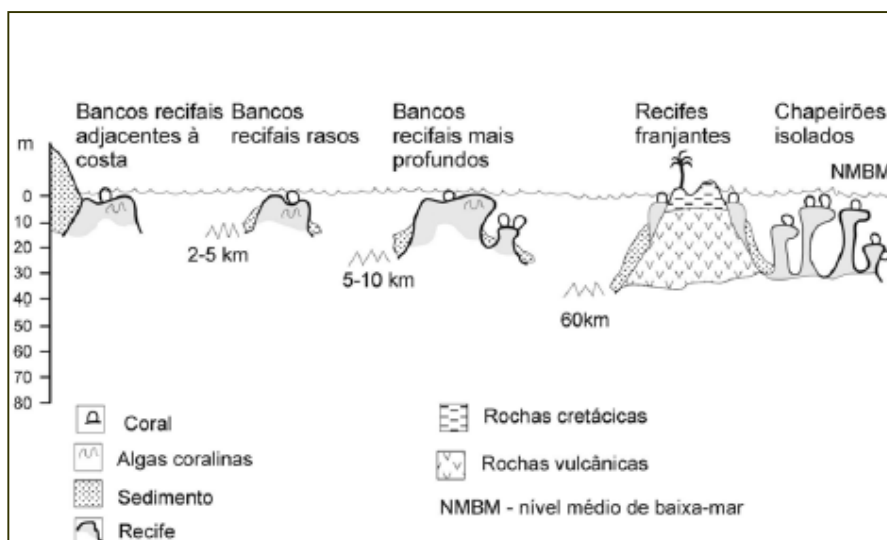


Figura 2.2 - Principais tipos de recifes da região de Abrolhos. (Leão & Kikuchi 1999).

2.3 Clima e Parâmetros Oceanográficos

O clima na costa leste do Brasil é definido como tropical úmido. Na estação meteorológica da Marinha do Brasil, localizada na ilha de Santa Bárbara, são registrados dados diários de temperatura do ar, direção e intensidade dos ventos. A temperatura média do ar varia de 23°C, no inverno, a 28°C no verão sendo que os meses mais quentes são de dezembro a abril (DHN 1993).

O valor médio da TSM (temperatura da superfície do mar) varia de 24°C (no inverno) a 28°C (no verão). A temperatura da coluna d'água não apresenta uma estratificação acentuada. Em média a diferença de temperatura entre a superfície e o fundo é de 2°C. A salinidade ao redor dos recifes é de 36,5 a 36,7 ups (DHN 1993). Apenas pequenos rios com cursos d'água de caráter perene e intermitente deságuam ao longo do Banco dos Abrolhos. Cinco pequenos rios desembocam diretamente na área de estudo, Buranhém, Jucuruçu, Itanhém, Peruípe e Caravelas, que juntos apresentam uma descarga anual de aproximadamente 120 m³.s⁻¹, a qual não representa uma influência marcante nos recifes (Leão, 1982). O rio Mucuri é o maior contribuinte de água doce na região, com descarga de aproximadamente 113 m³.s⁻¹ desaguando, aproximadamente, a 60 km ao sul de Caravelas. Os principais rios da região são o Jequitinhonha distando 200 km ao norte dos recifes de Guaratiba e o rio Doce à 150 km ao sul do Recife de Viçosa.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Aspectos Ecológicos, Taxonômicos e Morfológico dos Corais Hermatípicos

A espécie de coral objeto deste estudo, *Mussismilia braziliensis*, é um coral hermatípico ou construtor de recifes. Um maior entendimento dos parâmetros ambientais nos quais os corais hermatípicos se desenvolvem é vital para a interpretação dos dados geoquímicos obtidos a partir dos seus esqueletos. Todos os corais recentes são marinhos e vivem em águas de boa circulação que lhes suprem os nutrientes e o oxigênio de que necessitam; além disso não toleram grandes aportes de sedimento. Os corais hermatípicos restringem-se às águas tropicais rasas, em decorrência das necessidades fotossintéticas das algas zooxantelas, com as quais vivem em simbiose. Vivem principalmente em águas de profundidades inferiores a 20 m, cujas temperaturas variam de 25 °C a 29 °C. Entretanto, algumas formas são encontradas em profundidades de até 90m, suportando temperaturas tão frias quanto 16 °C. Desta maneira os corais hermatípicos constituem-se nos organismos mais importantes ou mesmo predominantes nos ambientes recifais recentes. Os corais não hermatípicos (ou anermatípicos) podem ocorrer associados aos corais hermatípicos, mas não estão sujeitos às mesmas restrições ambientais (Carvalho, 2000).

Existem várias formas de crescimento das colônias dos corais hermatípicos: maciça, tabulada, ramificada e folhosa. A taxa de crescimento dos corais hermatípicos varia de alguns milímetros a muitos centímetros por ano. Devido à rápida segregação do carbonato de cálcio esquelético na água do mar, os corais hermatípicos formam os recifes de coral: feições geográficas com estruturas resistentes à energia das ondas, composta de carbonato de cálcio e rochas nas regiões tropicais. Uma das características fascinantes dos corais é a sua capacidade de crescimento vertical ou horizontal para acompanhar as variações do nível do mar. Esta característica lhe confere a possibilidade de uma vida muito longa, na qual registra continuamente dados preciosos das condições ambientais marinhas.

Todos os corais, incluindo os hermatípicos, integram o Filo Cnidaria, juntamente com as hidras, medusas e anêmonas-do-mar. Os cnidários são os metazoários verdadeiros mais simples conhecidos no mundo animal, correspondendo a um nível organizacional mais complexo do que as esponjas. Cnidários fósseis são conhecidos do período Pré-Cambriano e formam um rico registro fóssil data do Cambriano. Os corais hermatípicos viventes integram a Classe Antozoa, Subclasse Zoantharia. Segundo Ruppert *et al.* (2005), os corais pétreos, ou verdadeiros ou escleractíneos (também chamados corais medroporários), constituem o maior taxon dentre os antozoários, com aproximadamente 3.600 espécies. Diferente das anêmonas-do-mar, os corais pétreos produzem um exoesqueleto de carbonato de cálcio. Alguns corais são solitários, mas a maioria é colonial, com pólipos pequenos, com média de 1 a 3mm de diâmetro. Uma colônia pode crescer vários metros em altura, pesar toneladas e ser composta por mais de 100.000 pólipos.

Os pólipos de coral possuem estrutura bem parecida com uma anêmona-do-mar, incluindo a posse de septos emparelhados. No entanto, faltam-lhes sifonoglifos (zonas ciliares localizadas) óbvias e seus músculos retratores são foliáceos e não localizados e proeminentes como ocorre nas anêmonas-do-mar. Apesar desses aparentes impedimentos, os pólipos de coral enchem e esvaziam como anêmonas-do-mar. Presumivelmente, a faringe tem cílios que batem para dentro, os quais não são organizados em sifonoglifos especializadas.

A estrutura do corpo dos cnidários é relativamente simples, com as células organizadas em duas camadas denominadas ectoderme e endoderme (ou gastroderme) (Figura 3.1), sendo por isto considerados organismos diploblásticos. Não existe cavidade entre estas camadas, apenas uma camada gelatinosa denominada mesogléia, a qual é bastante reduzida nos pólipos dos corais. As paredes dos corpos englobam uma cavidade central, denominada celêntero (Figura 3.1), que se apresenta dividida por partições radiais denominadas mesentérios, os quais auxiliam na digestão e absorção do alimento, já que a função primordial da endoderme é a digestão.

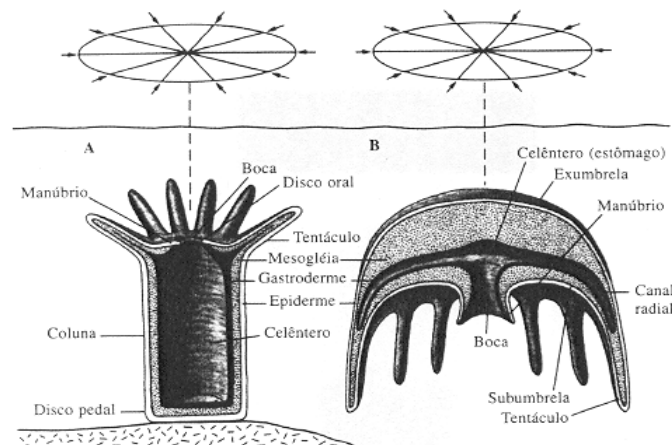


Figura 3.1 – Cnidária: formas corpóreas solitárias. (A) Pólipo radialmente simétrico. (B) Medusa radialmente simétrica. Os diagramas sobre o pólipo e a medusa indicam sua simetria radial, que é adaptada para receber estímulos (setas) de todas direções. (Ruppert et al. 2005)

A boca é utilizada tanto para a entrada do alimento como para eliminação das larvas e dos produtos não digeridos, servindo portanto também como ânus. Ao seu redor dispõe-se uma coroa de tentáculos retráteis, portadores de células especializadas denominadas cnidócito ou nematocistos (Figura 3.2). Estas células são uma das principais características do filo Cnidaria, servindo também para sua designação. Os cnidócitos são grandes células com uma cavidade central selada (cápsula), em cujo interior há uma estrutura tubular em forma de agulha disposta em espiral (estilete), preenchida por uma toxina venenosa denominada

actinocongestina, utilizada tanto para defesa quanto para captura de presas. Ao contrário dos metazoários mais evoluídos, os cnidários são desprovidos dos sistemas circulatório, excretor e respiratório, e mesmo seu sistema nervoso é formado por uma rede difusa de células dispostas na mesogléia. Outra característica do grupo é o seu plano de simetria radial, com as partes do corpo dispostas repetidamente em torno da boca, apesar de algumas formas apresentarem simetria bilateral (Carvalho,2000).

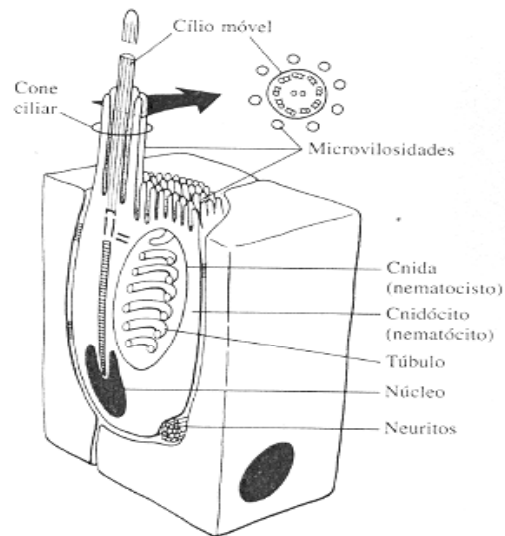


Figura 3.2 – Cnidária: Cnidócitos e cnidas. Nematócito de antozoó.
(Modificado de Ruppert et al., 2005).

Os pólipos de corais coloniais surgem de um cenossarco, que é contínuo à parede da coluna (Fig. 3.3). O cenossarco contém uma larga extensão do celêntero ou tubos celentéricos (solênios) intercalados entre as camadas superiores e inferiores da epiderme. A superfície inferior do cenossarco segrega o esqueleto que se apóia sobre os coralitos. Isto é conhecido como cenósteo (=osso comum; Fig. 3.3). Os coralitos e os cenósteos juntos compõem o esqueleto do coral, ou coralo (Fig. 3.3). O tecido vivo do coral, pólipos e cenossarco, apóia-se totalmente sobre o coralo e o cobrem por completo (Fig. 3.3).

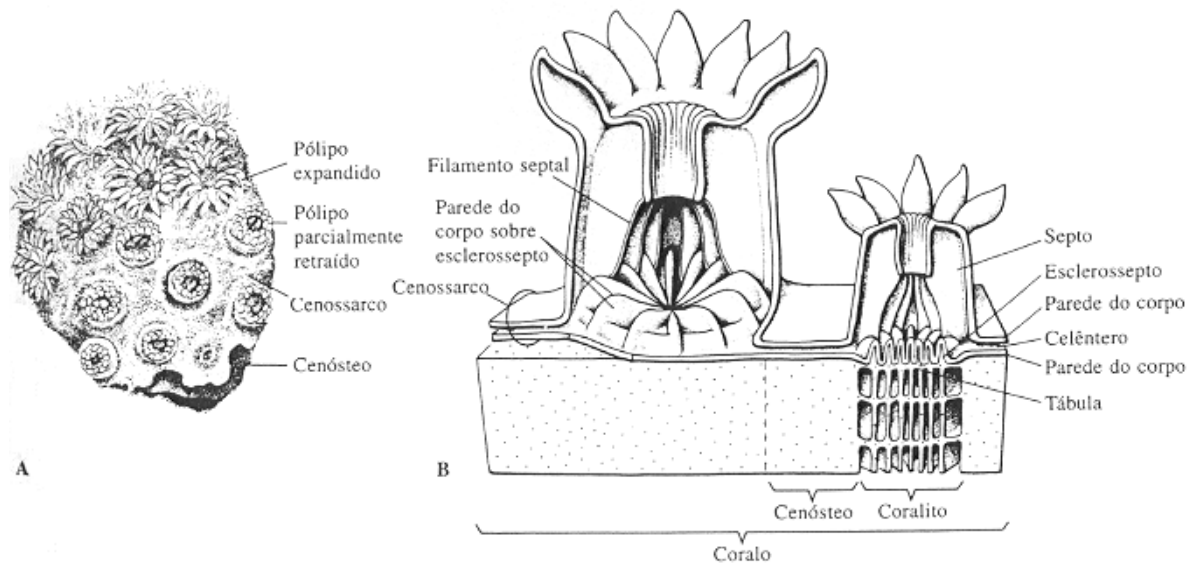


Figura 3.3 – Diversidade dos Zoantários. Anatomia dos corais pétreos. (A) Superfície de um corte colonial mostrando pólipos contraídos e expandidos, cenossarco e esqueleto calcário subjacente (coralo). (B) Vista em corte de um coral colonial. (Ruppert et al., 2005).

Os esclerosseptos (Fig. 3.3), uma marca distintiva dos corais pétreos, têm provavelmente várias funções, mas apenas uma, de ancoragem, está estabelecida com certeza. Células de ancoragem especializadas (desmócitos) prendem o pólipo a seu esqueleto. Os esclerosseptos também podem ajudar o coral a resistir à predação. Como os pólipos de coral se retraem firmemente em seus coralitos, parte do tecido vivo se recolhe na base protetora do coralito e nos vales entre os esclerosseptos, porém o restante permanece esticado sobre os cumes do esclerossepto. A baixa proporção entre tecido e mineral nos esclerosseptos projetados pode desencorajar a maioria dos predadores, exceto os pastadores mais especializados, como os baiacus com seus incisivos semelhantes aos de um rato. Finalmente, em razão de muitos escleractíneos com zooxantelas se retraírem durante as horas de sol do dia, o drapejado do tecido fotossintético do coral sobre os esclerosseptos, em lugar dos grupos junto à base de uma taça sem esclerosseptos, pode auxiliar a exposição à iluminação. A superfície branca do esqueleto pode também ajudar a refletir a luz solar sobre as zooxantelas.

Enquanto uma colônia de coral está viva, carbonato de cálcio novo é depositado abaixo dos tecidos vivos, assim como pólipos e o cenossarco. Essa deposição aumenta o diâmetro e a espessura do coralo, bem como a altura dos esclerosseptos, aprofundando os coralitos abaixo dos pólipos. Entretanto, cada pólipo tem um tamanho fixo quando adulto e, portanto, periodicamente reduz a profundidade do coralito erguendo sua base e secretando um novo assoalho (tábula), selando o antigo assoalho e um pequeno espaço sob este (Fig. 3.3). Com o passar do tempo, a repetição desse processo cria uma série de espaços que eram previamente ocupados, mas agora abandonados, debaixo dos pólipos vivos, que só ocupam o último assoalho.

O carbonato de cálcio (CaCO_3) é segregado pela metade inferior da columela e do disco basal. Este processo de secreção produz uma taça esquelética dentro da qual o pólipos se fixa (Figura 3.4). Normalmente o pólipos é formado por uma parede, ou epiteca, que encerra e une-se aos septos (placas verticais dispostas radialmente) e às tabulas (*tabulae*) e dissepimentos, conforme ilustrado na Figura 3.4. Características taxonômicas e fisiológicas importantes podem ser deduzidas a partir deste esqueleto. Os septos, por exemplo, representam a relação existente com os mesentérios, tanto em número quanto em posição; as *tabulae* e os dissepimentos, por outro lado, demonstram a forma e a posição do disco basal. Além dos septos e das *tabulae*, ocorre uma estrutura axial central, a columela. O esqueleto unitário, seja dos pólipos isolados ou de uma colônia, denomina-se *corallum*, ao passo que os esqueletos dos indivíduos componentes de uma colônia são denominados de coralitos.

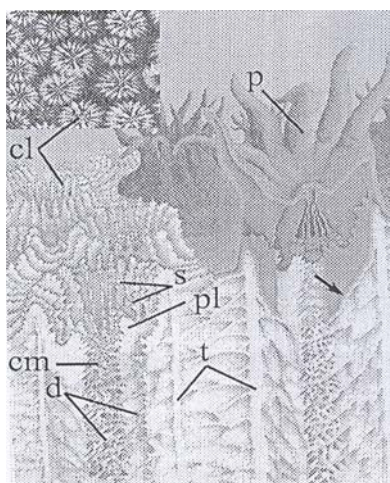


Figura 3.4 Vista da superfície (detalhe) e corte longitudinal ao longo de um esqueleto coralino, mostrando detalhes da arquitetura esquelética em meso-escala e localização do pólipos (p) dentro do coralito (cl). O coralito é um tubo fechado por uma parede denominada teca (t), a qual é interceptada por lâminas achatadas denominadas septos (s) que irradiam a partir do centro do tubo. Os lóbulos paliformes (pl) resultam do crescimento dos septos. Prolongamentos dos lóbulos paliformes se encontram no centro para formar a columela (cm). Os dissepimentos (d) são lâminas horizontais delgadas crescidas em intervalos regulares (mensais). A seta à direita indica a região de calcificação na região intermediária entre o tecido e o esqueleto. Figura adaptada Cohen e McConnaughey (2003).

3.2 Contribuição dos corais hermatípicos aos estudos astronômicos e estratigráficos

Os corais também têm sido utilizados no estudo da avaliação temporal de fenômenos astronômicos. Muitos exemplares de corais rugosos e tabulados apresentam finas linhas de crescimento na epiteca, as quais estão freqüentemente agrupadas em bandas proeminentes. Sabe-se que as linhas finas representam incrementos diários de crescimento, enquanto que o bandeamento é mensal, e as anulações maiores e mais amplamente espaçadas são anuais. Com base nestes aspectos, exemplares de corais devonianos chegaram a

ser utilizados numa tentativa de se estimar o número de dias existentes em um ano durante aquele período: cerca de 400 dias (Scrutton, 1965, *apud* Mitsuguchi 2000). Em 1963 Wells aplicou a contagem do número de bandas diárias de corais antigos para monitorar a desaceleração gradual da rotação da Terra devido à fricção das marés.

Os corais apresentam geralmente uma distribuição estratigráfica muito longa para serem utilizados no zoneamento bioestratigráfico, mas têm sido utilizados quando da falta de fósseis de curta distribuição geológica, particularmente no Carbonífero.

Os recifes de corais variam na sua forma, a depender das condições geográficas e ambientais e da história recente de variações do nível do mar. De acordo com a teoria de Darwin, os recifes de coral iniciam sua formação como recifes em franja em torno de uma ilha de grande superfície e gradualmente se distanciam do continente através de uma lenta subsidência da ilha, onde a terra fica totalmente submersa. A porção que permanece emersa é um atol, ou seja, um círculo de recifes englobando uma lagoa. Conseqüentemente, as variações do nível do mar e o crescimento vertical dos recifes através do crescimento e da acumulação dos organismos calcários são os mecanismos primários para a evolução dos recifes de coral. Em algumas regiões a subsidência tectônica foi tão rápida que os recifes de coral não conseguiram acompanhar a elevação do nível do mar, ao passo que em outras regiões, o soerguimento tectônico expôs recifes de coral ao ar. Estes recifes submersos ou emersos são denominados paleo-recifes. Fragmentos de esqueletos de possíveis corais têm sido descritos em rochas cambrianas, mas os corais hermatípicos surgiram no Ordoviciano. Por volta do Ordoviciano Médio, os corais começaram a se tornar comuns como parte da fauna marinha. Foi exatamente durante o Ordoviciano que se deu a separação dos grupos importantes de corais paleozóicos: rugosos, tabulados e heliolitídeos, os quais atingiram o máximo de diversidade durante o Devoniano. Os corais destes três grupos tiveram um papel importante ao participarem da construção de edifícios recifais no Paleozóico, apesar de serem poucos os recifes em que tenham sido os construtores principais. Os heliolitídeos desapareceram no Devoniano, mas os rugosos e os tabulados ainda permaneceram até o Permiano, quando também se extinguiram pouco antes do final deste período.

Segundo Leão & Kikuchi (2003), as últimas flutuações pós-glaciais do nível do mar deixaram impressões distintas no desenvolvimento dos recifes de corais brasileiros, no Holoceno. As curvas relativas do nível do mar da costa brasileira, elaboradas por Martin *et al.* (1979) são caracterizadas por uma fase transgressiva que alcançou um máximo de 5 m acima do nível atual do mar a 5 ka AP, seguido por uma fase geral regressiva desde aquele tempo. Então acompanharam o lineamento da “curva transgressiva-regressiva” de Davies & Montaggioni (1985), a qual está descrita de maneira geral no hemisfério sul (Camoin *et al.* 1997), ao invés da “curva transgressiva” proposta para o Caribe (Neumann & Macintyre 1985).

3.3 Bandamento e Recuperação de Registros de Alta Resolução

Há muito sabe-se que a maioria dos corais hermatípicos (especialmente os corais maciços) apresentam um padrão de bandamento, a exemplo dos anéis de árvores (Ma, 1933, 1937). Knutson *et al.* (1972) descobriram que as radiografias revelam o bandamento de densidade nos corais hermatípicos. Posteriormente foi demonstrado que este bandamento de densidade é formado anualmente, utilizando-se uma variedade de métodos: análise do decaimento radioativo (Dodge & Thomson, 1974), coloração de esqueletos (Stearn *et al.* 1977) e coleta seqüencial (Hudson *et al.* 1976). Uma banda clara - de alta densidade e segregada durante a estação quente - e uma banda escura - de baixa densidade e segregada durante a estação fria - compõem um ciclo anual de crescimento. Duas aplicações potenciais para este bandamento foram então identificadas: (i) recuperar informações sobre o processo de crescimento dos corais e o histórico de crescimento dos mesmos, e (ii) resgatar registros paleoclimáticos. Espécies de corais maciços, a exemplo de *Porites*, *Pavona* e *Montastraea*, apresentam taxas de crescimento esquelético variando de 10 a 20 mm por ano, construindo colônias de mais de um metro de altura, o que possibilita a extração contínua de informações sobre os ambientes físicos, químicos e biológicos ao longo de vários séculos, a partir das bandas anuais de uma colônia de coral vivo.

Segundo Dunbar & Cole (1993), a descoberta do bandamento da densidade anual dos corais de longa existência muitas vezes tem sido ligada aos anéis de crescimento anual das árvores e sugere que os corais podem fornecer informações equivalentes, ou ainda melhores do que os anéis de crescimento das árvores, sobre os mares tropicais de águas rasas.

Os corais podem contribuir de maneira importante para o entendimento do clima através da reconstrução da variabilidade climática durante períodos de tempo com histórico de mudanças climáticas, a exemplo do Último Máximo Glacial (Edwards *et al.* 1987) e meados do Holoceno (Beck *et al.* 1992). Pelo menos dois atributos encontrados nos corais fósseis fazem deles particularmente bem adequados para a definição dos limites naturais e a sensibilidade do clima tropical. O primeiro atributo se refere ao fato de que os corais têm capacidade de marcar mudanças dentro do ciclo anual, permitindo que condições do sistema oceano-atmosfera sejam reconstruídas com relação a estações específicas. Dados paleoclimáticos resolvidos trimestralmente são essenciais para a reconstrução de sistemas climáticos dinâmicos, a exemplo do ENSO (*El Niño-Southern Oscillation*), monções e ressurgências oceânicas geradas por dinâmica eólica (Shen *et al.* 1991, 1992). O segundo aspecto reside na possibilidade de se obter datações muito precisas de corais fósseis, através da medição da razão $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ utilizando-se espectrometria de massa por ionização térmica (Edwards *et al.* 1987). Erros associados à datação utilizando-se ^{230}Th geralmente são inferiores a 1% em amostras com idades variando de 100 a 200.000 anos. Os pares (*couplets*) do bandamento de densidade, ou traçadores geoquímicos com variação anual, podem então ser utilizados para se obter o controle de tempo

trimestral para as cronologias individuais “flutuantes”. Estes conjuntos de dados serão particularmente úteis para o entendimento da sensibilidade dos processos climáticos à mudança climática global (Gagan *et al.* 1998).

Um modelo detalhado do crescimento esquelético foi elaborado para *Porites* (Barnes & Lough 1993; Taylor *et al.* 1993). Algumas vezes este modelo recebe a denominação de “Townsville”, já que o mesmo resultou de estudos realizados pelo Instituto Australiano de Ciências Marinhas instalado naquela cidade. Provavelmente os mecanismos de outros gêneros são similares àqueles descritos para *Porites*, porém variam em anatomia e arquitetura esquelética (e.g., Dodge *et al.* 1993).

Entretanto, sabe-se que não é apenas a elevação da temperatura do mar que pode causar o branqueamento ou reduzir o crescimento dos corais. Variações na transparência da água, aumento do acúmulo de sedimento sobre os recifes, redução na salinidade, contaminação por efluentes domésticos e industriais, derramamento de óleo, são problemas que podem causar distúrbios no ecossistema e deprimir o crescimento dos corais (Dodge & Vaynsnis 1977; Bak 1978; Brown e Howard 1985; Tomascik & Sander 1985; Rogers 1990; Glynn 1993; Glynn 1996; Brown 1997b), conseqüentemente afetando o bandamento.

3.4 Principais Estudos Paleoclimáticos Conduzidos Com Corais

Embora os estudos dos corais hermatípicos como geotermômetros sejam relativamente recentes, eles utilizam conhecimentos prévios sobre aspectos de crescimento ligados à morfologia externa. Whiffield (1898, *apud* Mitsuguchi 2000) foi provavelmente o primeiro pesquisador a considerar as características externas de crescimento dos corais, observando ondulações freqüentes na superfície externa de ramificações de um exemplar da espécie *Acropora palmata*, comum no Caribe. Outra base de conhecimento importante foi lançada no século XIX por Andrew Douglass, um astrônomo interessado nos efeitos dos ciclos solares sobre o clima, quando iniciou a datação sistemática de anéis de crescimento das árvores. Estava lançada a ciência da dendroclimatologia, que aumentou o entendimento dos mecanismos envolvidos na formação dos anéis das árvores.

A incorporação de elementos menores e elementos traços na aragonita dos esqueletos coralinos parece ser controlada por aspectos químicos e/ou de temperatura, assim como pelo fracionamento de isótopos estáveis de oxigênio entre a aragonita coralina e a água do mar (Mitsughuchi, 2000). Registros paleoclimáticos corretamente datados e com resolução trimestral são capazes de revelar mudanças sutis na temperatura da superfície do mar, variabilidade do regime de chuvas e evaporação no ciclo anual, aspectos que em conjunto fornecem indicações sobre mudanças em larga escala ocorridas no oceano e na atmosfera tropicais (Gagan *et al.* 2000). Tais registros são obtidos a partir de análises de algumas razões geoquímicas e

isotópicas nos esqueletos coralinos, a exemplo de Sr/Ca, Ba/Ca, Mg/Ca, isótopos de oxigênio e de carbono, dentre outras, como será mostrado a seguir.

O advento dos testes nucleares em meados do século XX e as indicações de mudanças climáticas globais nas últimas décadas daquele século impulsionaram os estudos dos esqueletos dos corais hermatípicos como depositários de indicadores da temperatura da superfície do mar.

3.4.1 Principais Gêneros e Áreas Geográficas Estudadas

Os principais gêneros de corais hermatípicos estudados como geotermômetros até o presente momento são *Acropora*, *Porites*, *Pavona* e *Montastraea*, coletados principalmente no Oceano Pacífico, Flórida e Caribe. A presente dissertação integra um conjunto de estudos pioneiros das razões geoquímicas encontradas no esqueleto do coral *Mussismilia braziliensis* como indicadores da TSM na região de Abrolhos, Brasil.

3.4.2 Razões Geoquímicas, Razões Isotópicas e Fluorescência

A mineralogia dos esqueletos de corais hermatípicos é aragonita (CaCO_3). Durante a precipitação do esqueleto coralino alguns elementos do meio são incorporados, constituindo verdadeiros bancos de dados, cuja interpretação tem avançado progressivamente, à medida que aumenta a resolução das análises e o entendimento sobre os processos biológicos envolvidos na formação esquelética e sua correlação com os elementos do meio. O Quadro 3 resume os compostos químicos encontrados nos esqueletos coralinos denominados como indicadores ambientais e os processos ambientais geralmente assumidos como controladores destes compostos químicos, segundo Mitsuguchi (2000). É importante observar que achados conflitantes sobre as relações geoquímicas com a TSM continuam a ser reportados por estudos desta área, portanto esta tabela é ilustrativa, mas não definitiva.

Quadro 3 - Sumário dos compostos químicos nos esqueletos coralinos e seus fatores ambientais correlatos
(Adaptado de Mitsuguchi, 2000)

	TSM	Salinidade	Dinâmica de nutrientes	Descarga fluvial	Luminosidade	Produção primária	Ressuspensão Aporte
B/Ca	•						
F/Ca	•						
Mg/Ca	•						•
Mn/Ca			•				
Sr/Ca	••						
Cd/Ca			••				
Ba/Ca			••	•		•	
U/Ca	••						
$\delta^{18}\text{O}$	••	••		•			
$\delta^{13}\text{C}$			•		•	•	
Fluorescência				•			

- Indica fortes sinais com aplicabilidade conhecida em áreas geográficas.
- Indica sinais fortemente correlacionados com fatores em determinados sítios.

De maneira geral os indicadores (*proxies*) nos esqueletos coralinos foram desenvolvidos através dos seguintes procedimentos: (i) corais vivos foram coletados em sítios onde registros ou observações ambientais (ex: TSM, composição química da água do mar, salinidade, ressurgências, etc) estavam disponíveis; (ii) compostos químicos foram mensurados ao longo do eixo de crescimento dos esqueletos coralinos, e (iii) quando qualquer composto químico exibia qualquer variação cíclica, esta era comparada com a variação dos parâmetros ambientais com probabilidade de controlar aquele composto. Portanto, os indicadores ambientais foram desenvolvidos de forma empírica. Entretanto, o avanço tecnológico e o refinamento dos métodos têm permitido o aumento contínuo da precisão nos estudos de razões geoquímicas encontradas nos esqueletos coralinos como indicadores da TSM.

3.4.2.1 Sr/Ca e Mg/Ca

Devido ao longo tempo de residência do estrôncio e do cálcio nos oceanos do mundo (6 e $0,7 \times 10^6$ anos, respectivamente) (Pilson, 1998), geralmente assume-se que a razão Sr/Ca não tenha sofrido variação nas escalas de tempo abordadas pela maioria dos estudos de reconstrução paleoclimática (Smith *et al.* 2006). Embora alguns estudos subseqüentes tenham questionado esta premissa (de Villiers *et al.* 1994; Alibert *et al.* 2003), esta ainda parece ser um consenso assumido pela maioria dos pesquisadores.

Weber (1973) demonstrou que o teor esquelético da razão Sr/Ca para determinados gêneros de corais diminuía à medida que aumentava a temperatura da água do mar, condição que foi confirmada por Smith *et al.* (1979). Chave (1954) demonstrou que o teor de Mg esquelético aumentava à medida que crescia a TSM, para organismos contendo tanto calcita quanto aragonita em seus esqueletos, todavia Weber (1974) reportou resultados negativos para esta relação Mg/TSM em corais. Vale ressaltar que estes estudos pioneiros mediram os elementos sem executar micro-amostragem ao longo do eixo de crescimento do esqueleto; ao invés disto foram utilizadas amostras totais (*bulk samples*) de exemplares coletados em várias regiões do mundo. Os resultados foram comparados principalmente com a TSM média dos sítios de coleta das amostras. Como conseqüência, é possível que os seus resultados tenham sido afetados pelo método rústico e por efeitos biológicos (a exemplo de diferenças entre as espécies e gêneros, viés (*bias*) trimestral no crescimento do coral, etc). Subseqüentemente, Goreau (1977) e Oomori *et al.* (1982) mediram as razões Sr/Ca e Mg/Ca ao longo do eixo de crescimento de corais maciços, demonstrando uma forte variação trimestral da razão Mg/Ca e uma fraca ou pequena variação na razão Sr/Ca. Schneider & Smith (1982) demonstraram um ciclo anual induzido pela TSM na razão Sr/Ca no coral maciço *Porites*, evidenciando assim o potencial da razão Sr/Ca em corais como indicador (*proxy*) da TSM. Entretanto a variação da razão Sr/Ca nos corais com a TSM é muito pequena ($\sim 0.7\%/^{\circ}\text{C}$), motivo pelo qual foi difícil, utilizando-se os métodos analíticos comuns - a exemplo de espectrofotometria de absorção atômica - distinguir diferenças de temperatura inferiores a $\sim 2^{\circ}\text{C}$. Beck *et al.* (1992) aplicaram o método de diluição isotópica combinada com ID-TIMS para determinar a razão Sr/Ca em corais, com a qual foi possível melhorar a diferença de temperatura para $\sim 0,1^{\circ}\text{C}$. A razão Sr/Ca em corais determinada através deste método rastreou de maneira próxima os registros da TSM ou foi similar a outros *proxies* da TSM (como por exemplo $\delta^{18}\text{O}$ e razão U/Ca) (Beck *et al.* 1992; de Villiers *et al.* 1994; McCulloch *et al.* 1994; Min *et al.* 1995; Shen *et al.* 1996; Alibert & McCulloch, 1997; Gagan *et al.* 1998), conseqüentemente, a razão Sr/Ca foi proposta como um *proxy* confiável da TSM.

O papel desempenhado pelos controles biológicos sobre as razões Sr/Ca, a exemplo da taxa de crescimento e diferenças entre as espécies, tem gerado muitas discussões. Os primeiros pesquisadores a mencionar este aspecto foram de Villiers *et al.* (1994), porém Shen *et al.* (1996) encontraram pouca diferença biológica na relação Sr/Ca-TSM para *Porites* spp. Alibert & McCulloch (1997) obtiveram uma relação

Sr/Ca-TSM bem aplicável a três espécies do coral *Porites*, apoiando assim os achados de Shen *et al.* (1996). Diversas relações foram calibradas para o coral *Porites* (Beck *et al.* 1992; de Villiers *et al.* 1994; Shen *et al.* 1996; Alibert & McCulloch, 1997), entretanto, foi detectada uma diferença significativa entre tais relações, o que gera discrepâncias de temperatura $\leq 1,5$ °C. Uma parte desta diferença provavelmente é devida às diferenças regionais na razão Sr/Ca da água do mar. Temperaturas da superfície do mar no Pleistoceno Superior e no Holoceno Inferior-Médio foram reconstruídas através da aplicação da termometria Sr/Ca a corais fósseis (Beck *et al.* 1992, Gagan *et al.* 1998; McCulloch *et al.* 1999) (Guilderson *et al.* 1994). Por exemplo, as medições da razão Sr/Ca encontradas em corais fósseis de Barbados indicam que a TSM do Caribe foi 5°C a 6 °C mais fria durante o Último Máximo Glacial (~18-20 ka AP) do que o Presente (Guilderson *et al.* 1994, *apud* Mitsuguchi 2000), o que é compatível com os resultados das linhas de neve das geleiras alpinas (Broecker e Denton, 1989) (Hope *et al.* 1976; Thompson *et al.* 1995, *apud* Mitsuguchi 2000) e de assembléias terrestres de pólen (Rind & Peteet, 1985; Hope, 1976, *apud* Mitsuguchi 2000).

Apesar da forte variação trimestral na razão Mg/Ca em corais, sua relação com a temperatura tem sido examinada muito raramente. Mitsuguchi (2000) conduziu um extenso estudo para calibrar as relações TSM-Mg/Ca e TSM-Sr/Ca nos corais *Porites* e tentar reconstruir a paleo-TSM a partir de razões Mg/Ca e Sr/Ca em corais *Porites* fósseis coletados nas Ilhas Ryukyus (Japão) e na Grande Barreira de Recifes da Austrália. Ele constatou uma forte sincronia entre as razões Mg/Ca e Sr/Ca e $\delta^{18}O$, sendo que a variação Mg/Ca foi cerca de quatro vezes maior do que Sr/Ca, indicando alta sensibilidade da razão Mg/Ca às variações de temperatura. Mitsuguchi (2000) acredita que na maioria das condições oceânicas a dinâmica química da água do mar ou da salinidade sobre a razão Mg/Ca do esqueleto coralino deva ser insignificante.

3.4.2.2 U/Ca, B/Ca e F/Ca

Urânio (U) e boro (B) ocorrem nos esqueletos coralinos em concentrações de ~1-4 ppm e ~30-70 ppm, respectivamente, sendo conseqüentemente definidos como elementos traços. Min *et al.* (1995) descobriram ciclos anuais da razão U/Ca em esqueletos do coral *Porites*, que estavam de acordo com a razão Sr/Ca. A variação fracional da razão U/Ca é aproximadamente seis vezes maior do que a razão Sr/Ca, e ambos estavam fortemente anticorrelacionadas com a TSM tropical pretérita, embora Shen & Dunbar (1995) tenham sugerido que a razão U/Ca seja afetada por outros fatores (a exemplo da salinidade, ΣCO_2). A razão U/Ca foi aplicada aos corais fósseis para reconstrução da TSM no Holoceno Inferior (Min *et al.* 1995). Os achados desta investigação suportaram as paleo-TSM reconstruídas utilizando-se a termometria Sr/Ca.

À medida que novas tecnologias foram sendo introduzidas no estudo das razões geoquímicas dos esqueletos coralinos como indicadores (*proxy*) de temperatura, avanços importantes foram progressivamente sendo obtidos. Por exemplo, ao utilizar a técnica IMP-MS (*Ion Microprobe Spectrometry* / Espectrometria

por Micro Sonda Iônica) para analisar elementos traços em esqueletos de corais do gênero *Porites*, Hart e Cohen (1996) obtiveram ciclos anuais nas razões de B/Ca, F/Ca, Mg/Ca e Sr/Ca sincronizados entre si. Através da aplicação de espectrometria de massa de ablação a laser com plasma indutivamente acoplado (LA-ICP-MS/ *Laser Ablation Inductively-coupled Plasma Mass Spectrometer*) no estudo de esqueletos de corais do gênero *Porites*, Sinclair *et al.* (1998) detectaram ciclos anuais síncronos nas razões de B/Ca, Mg/Ca, Sr/Ca e U/Ca. Desta forma, pelo comportamento coincidente com as razões Sr/Ca, Mg/Ca cuja relação com a TSM está bem estabelecida para alguns corais, acredita-se que as razões B/Ca e F/Ca sejam também controladas primariamente pela temperatura.

3.4.2.3 Ba/Ca, Cd/Ca e Mn/Ca

Bário (Ba), cádmio (Cd) e manganês (Mn) ocorrem nos esqueletos coralinos em concentrações de ~1-30 ppm, ~1-20 ppb e ~5-200 ppb, respectivamente. Estes elementos traços foram estudados principalmente nos corais de Galápagos (*Pavona spp.*). A corrente de águas quentes e desprovidas de nutrientes da Bacia do Panamá (denominada Corrente do Panamá) desloca-se trimestralmente para o sul, substituindo as águas frias, ricas em nutrientes e ressurgidas em Galápagos. Em certos intervalos de tempo Galápagos é afetada pelo evento ENSO, anomalia de larga escala na circulação ao longo do Oceano Pacífico, que dura geralmente de 6 a 20 meses. Durante tais eventos, a Frente de Galápagos - limite entre as águas eutróficas e ressurgidas em Galápagos e as águas superficiais mais oligotróficas ao norte - muda de direção rumo ao sul e a região de Galápagos é banhada com águas desprovidas de nutrientes. Os registros das razões Ba/Ca, Cd/Ca e Mn/Ca nos esqueletos de corais em Galápagos são compatíveis com a dinâmica de nutrientes (Shen *et al.* 1987, 1991, 1992; Lea *et al.* 1989; Linn *et al.* 1990; Shen & Sanford, 1990; Delaney *et al.* 1993). Geralmente, durante os eventos ENSO, as razões Ba/Ca e Cd/Ca são reduzidas, ao passo que a razão Mg/Ca aumenta, indicando assim que as águas eutróficas ressurgidas, contendo alto teor de Ba e Cd, são substituídas ou diluídas pelas águas oligotróficas contendo alto teor de Mn.

3.4.2.4 Razão Isotópica $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ($\delta^{18}\text{O}$)

Esta razão medida em esqueletos de coral reflete a combinação da TSM local e a razão $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ da água do mar (Patzold, 1984). A razão isotópica é expressa como $\delta^{18}\text{O}$: o desvio normalizado, em partes por mil (‰) da amostra $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ relativa ao material padrão, a Pee Dee Belamnite (PDB), ou o padrão médio de água do oceano (SMOW-*Standard Mean Ocean Water*). A utilização mais comum do $\delta^{18}\text{O}$ destina-se a obter estimativas de longo prazo das variações da TSM nos séculos recentes (Quinn *et al.* 1993, 1996; Dunbar *et al.* 1994). Por outro lado, nas regiões com pouca variação da TSM, o $\delta^{18}\text{O}$ coralino monitora as variações de salinidade induzidas pela pluviosidade. Ao analisar o $\delta^{18}\text{O}$ de um longo testemunho coralino do Atol de Tarawa, onde a variação da TSM é bastante pequena ($< 2\text{ }^{\circ}\text{C}$), Cole *et al.* (1993) conseguiram

recuperar um século de registro da pluviosidade convectiva, a qual reflete a variabilidade do sistema ENSO. A técnica desenvolvida por McCulloch *et al.* (1994) consiste em medir conjuntamente a razão Sr/Ca e $\delta^{18}\text{O}$ em corais. Espera-se que as medições conjuntas da razão Sr/Ca e $\delta^{18}\text{O}$ possam tornar possível a reconstrução do $\delta^{18}\text{O}$ do sistema oceano-atmosfera, assim como a TSM através da remoção do componente de temperatura da assinatura de $\delta^{18}\text{O}$ no coral. Gagan *et al.* (1998) aplicaram esta técnica a um coral fóssil da Grande Barreira de Recifes da Austrália, recuperando tanto a TSM quanto o $\delta^{18}\text{O}$ do sistema oceano-atmosfera durante o Holoceno médio.

3.4.2.5 Razão Isotópica $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ($\delta^{13}\text{C}$)

Uma vez que os processos fisiológicos nos pólipos coralinos são muito complexos e cada processo tem a probabilidade de envolver um forte fracionamento de isótopos de carbono, torna-se difícil decifrar a assinatura da razão de isótopos estáveis de carbono ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) nos esqueletos coralinos em termos ambientais. A notação geralmente utilizada para a razão $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ é $\delta^{13}\text{C}$ (‰). Diversos fatores controladores foram propostos para o $\delta^{13}\text{C}$ de esqueletos coralinos, incluindo:

- $\delta^{13}\text{C}$ do carbono inorgânico dissolvido na água do mar (Nozaki *et al.* 1978; Swart *et al.* 1996);
- Fotossíntese endo-simbiótica (Weber & Woodhead, 1970; McConnaughey, 1989; Wellington & Dunbar, 1995; Fairbanks & Dodge, 1979) (Goreau, 1977; Patzold, 1984) (Wart, 1983; *apud* Mitsuguchi 2000);
- Estado reprodutivo (Gagan *et al.* 1994);
- Dieta autotrófica-heterotrófica (Carriquiry *et al.* 1994; Swart *et al.* 1996; Felis *et al.* 1998); e
- Taxa de crescimento (McConnaughey, 1989).

Mitsuguchi (2000) cita que alguns pesquisadores, a exemplo de Goreau (1977), Fairbanks & Dodge (1979), Bosscher (1992), Patzold (1984), McConnaughey (1989), Wellington & Dunbar (1995) propuseram que o $\delta^{13}\text{C}$ inorgânico dissolvido na água do mar seria controlado pelo balanço local entre produção primária e respiração, trocas no sistema oceano-atmosfera e contribuição das águas superficiais e águas de ressurgência, ao passo que a fotossíntese endo-simbiótica seria controlada, em grande parte, pelos níveis de luminosidade no ambiente. Desta forma, segundo estes pesquisadores, o $\delta^{13}\text{C}$ do esqueleto coralino provavelmente seria controlado pela profundidade, cobertura de nuvens e transparência da coluna d'água.

Em relação à dieta autotrófica-heterotrófica, Felis *et al.* (1998) propôs que esta provavelmente sofreria alterações durante as fases de intensa oferta (*boom*) de plâncton, resultando em prováveis mudanças no $\delta^{13}\text{C}$ dos esqueletos coralinos.

3.4.2.6 Fluorescência Sob UV

Isdale (1984) descobriu um bandamento fluorescente em esqueletos de corais, cujas amostras foram coletadas na plataforma de Queensland, na Grande Barreira de Recifes. O bandamento fluorescente é visível sob luz na faixa de UV próximo. Ele constatou que a intensidade das bandas fluorescentes estava fortemente correlacionada com a descarga (*outflow*) do Rio Burdekin e sugeriu que este fenômeno nos corais seria um *proxy* potencial de descarga fluvial. Adicionalmente Boto & Isdale (1985) e Susic *et al.* (1991) demonstraram que uma grande parte da fluorescência encontrada nos corais deriva de compostos húmicos terrígenos, os quais são transportados para as águas costeiras durante períodos de chuvas e escoamento superficial (*run-off*), sendo subsequente incorporados aos esqueletos coralinos em crescimento. Embora a correlação entre pluviosidade/escoamento e fluorescência tenha sido confirmada para algumas regiões, além da Austrália (a exemplo da Nova Guiné; Scoffin *et al.* 1989), discrepâncias não explicadas são aparentes em outras áreas (ex: sul da Tailândia; Scoffin *et al.* 1992).

Embora o bandamento fluorescente não esteja diretamente ligado à temperatura, ele poderia explicar eventuais anomalias das razões geoquímicas não correlacionadas à TSM.

4. MATERIAL E MÉTODO

As amostras de corais analisadas neste estudo foram coletadas em 2003, utilizando-se um equipamento que foi desenvolvido para esse fim, composto por uma perfuratriz pneumática e barriletes de 1 m de comprimento e diâmetro interno de 5 cm. Esse sistema foi operado por mergulhadores treinados e movimentado por meio de um compressor a bordo da embarcação. Cada testemunho corresponde a uma coluna no eixo de máximo crescimento da colônia. Os furos deixados pela testemunhagem em cada colônia de coral foram preenchidos com argamassa de cimento, para evitar o ataque de bioerodidores.

4.1 Estudo Piloto Para Adequação de Método

Um estudo piloto foi realizado em 2006 com o objetivo de adequar a metodologia publicada por Mitsuguchi *et al.* (2003), considerando-se os recursos técnicos disponíveis, incluindo o Espectrômetro de Emissão Ótica Acoplado a um Plasma de Argônio (ICP-OES), identificação dos itens de vidraria, ferramentas de corte mais adequadas, assim como o peso seco requerido para análise.

Dezessete amostras foram cortadas ao longo do eixo de crescimento de uma fatia do testemunho denominado CLE-1 coletado no recife Pedra de Leste, localizado nas coordenadas latitude 17° 47'173"S e longitude 39° 02'935"W), conforme ilustrado na Fig 2.1. O intervalo desejado para o corte das amostras foi um ano (ou seja, um par de bandas); a fim de obter cortes precisos, transferimos para uma transparência o desenho do bandamento anual visualizado no negativo de Raio X, cuja extensão e distância até o topo encontram-se citados no Quadro 4.1. Após consulta à literatura científica e técnica, além de pesquisas de campo, o equipamento selecionado para corte foi uma serra circular de dentista (KG Sorensen ref 7011, revestimento com diamante, espessura 0,1mm) acionada por um micromotor de bancada Beltec LB100. O baixo nível vibracional deste equipamento foi decisivo para a sua seleção, já que esta característica técnica permite a execução de cortes precisos.

As amostras foram moídas num gral de ágata, transferidas para tubos de ensaio de boro-silicato acondicionados numa galeria de tubos, tratadas com 10 mL de H₂O₂ e colocadas num agitador ultrassônico (Chubby-Thornton Inpec Eletrônica S/A 18 lts) durante 20 minutos, a fim de eliminar a matéria orgânica.

Após um período de 12 horas de decantação, o excesso de H₂O₂ foi removido utilizando-se uma micropipeta. Em seguida as amostras foram aquecidas a 45°C numa placa de aquecimento (Nova Ética) para remoção de H₂O₂ residual, sendo então colocadas na estufa (~60°C; Nevoni modelo 1-3) durante 6 horas. As amostras foram resfriadas num dessecador provido com sílica gel como elemento secante. A

decomposição do CaCO_3 presente em 0,2 g de cada amostra e de cada duplicada foi obtida através da adição gradual de 10 mL of HNO_3 0,5M, sob capela química (Labconco Purifier Class II Total Exhaust).

Em seguida as amostras foram transferidas para balões volumétricos de 50 mL, para avolumação com HNO_3 0,5M, seguido de transferência para frascos de polietileno com capacidade de 100 mL. As análises químicas foram realizadas num Espectrômetro de Emissão Ótica Acoplado a um Plasma de Argônio - ICP-OES (Varian Liberty 150). A massa remanescente de cada amostra não analisada foi colocada em recipientes plásticos rotulados para eventual replicação de análise e/ou estudos adicionais futuros. A descontaminação da vidraria foi realizada seguindo-se as melhores práticas de laboratório internacionalmente aceitas.

As séries de dados das razões geoquímicas e da TSM registrados na Estação Rádio Farol de Abrolhos (RFA) foram normalizados, diagramados e comparados.

Quadro 4.1 – Taxa de Extensão das Bandas Anuais, Distância Até o Topo e Peso Bruto – Testemunho CLE-1-C, Estudo Piloto

Amostra No.	Extensão do Bandamento (cm)	Distância até o Topo (cm)	Peso Bruto (g)
1	0,55	0,55	0,4082
2	0,75	1,30	1,1416
3	0,90	2,20	1,0781
4	0,60	2,80	1,1129
5	0,70	3,50	1,4798
6	0,75	4,25	1,4094
7	0,90	5,15	1,3038
8	0,55	5,70	0,8139
9	1,10	6,80	1,6965
10	1,25	8,05	1,4488
11	0,95	9,00	1,3159
12	0,65	9,65	0,9180
13	1,00	10,65	0,9893
14	1,10	11,75	1,2961
15	0,95	12,70	1,2322
16	0,70	13,40	0,9870
17	1,15	14,55	0,6448
Média	0,86 cm		

4.2 Estudo Principal - Trabalho de Laboratório

Considerando-se os achados metodológicos e analíticos obtidos no estudo piloto descrito acima, seguiu-se ao preparo e análise das amostras do estudo principal. Considerando a média anual de 0,86cm e a intenção de obter uma resolução trimestral, no estudo principal foi definido um intervalo de corte de 2 mm entre as amostras.

4.2.1 Corte e Moagem

As amostras foram cortadas a cada 2mm de intervalo sobre o eixo de crescimento do coral, utilizando-se serra circular de dentista (marca KG Sorensen ref 7011), acionada por micromotor (Beltec ref LB100) de baixa vibração. O Quadro 4.2.4a ilustra o número total de amostras cortadas em cada testemunho estudado. Cada amostra foi colocada em saco plástico previamente rotulado com seu número de identificação, o qual foi também lançado no livro de registros.

4.2.2 Descontaminação Orgânica com H_2O_2 e Redução de Volume Sobre Placa Aquecedora

Após transferência das amostras para tubos de ensaio de boro-silicato (capacidade 100 mL), estes foram identificados com as mesmas etiquetas utilizadas nos sacos plásticos, a fim de agilizar o processo e reduzir geração de resíduo. Foram gradualmente adicionados às amostras 10 mL de H_2O_2 . Após homogeneização e reação inicial, as estantes contendo os tubos de ensaio foram colocadas numa forma de vidro refratário com água deionizada (banho-maria), sendo então colocados sobre uma placa aquecedora (temperatura média de 50°C, nunca ultrapassando 60°C) até não mais haver evidências de reação do H_2O_2 . O período de descontaminação durou de 15 a 25 dias; no período noturno as placas eram desligadas. Durante o estudo piloto, constatamos que uma temperatura média de 50 °C, aliada a uma granulação maior, reduz sensivelmente a perda de material na parede interna dos tubos de ensaio.

Ao final da fase de reação, o volume foi reduzido com uma micro-pipeta e os tubos foram retornados à placa aquecedora para secagem parcial, até obter-se uma consistência de pasta. A secagem continuou ao ar, em ambiente continuamente refrigerado (24hx7dias). Este método foi elaborado após constatarmos, no estudo piloto, a ocorrência de secagem excessiva sobre a placa aquecedora e dificuldade para remover a amostra da parede interna dos tubos.

Um aspecto interessante observado nesta fase foi o surgimento de manchas esverdeadas nos tubos de ensaio. Registramos as amostras com esta característica para eventual correlação com algum achado geoquímico, entretanto nenhuma correlação foi constatada. A quantidade de amostras que apresentaram estas manchas é informada no Quadro 4.2.4a. A resolução temporal de ambos estudos está ilustrada no Quadro 4.2.4b.

4.2.3 Secagem e Pesagem

Cada amostra foi transferida para um pesa-filtro utilizando-se espátula inerte. Após estabilização da temperatura da estufa (marca Nevoni modelo 1-3) a 60°C, os pesa-filtros foram transferidos para a mesma, permanecendo em secagem durante 6 horas. Após este período os pesa-filtros foram transferidos para um dessecador com elemento secante, onde permaneceram resfriando durante 2 horas, em ambiente refrigerado.

Os pesa-filtros foram retirados do dessecador para pesagem imediata de 0,1g; esta massa foi transferida para béqueres previamente identificados, sendo o material excedente acondicionado em frascos plásticos com tampa de pressão, previamente identificados, para eventual replicação de análise e/ou estudos adicionais futuros. A pesagem de cada amostra foi duplamente registrada, tanto no Livro de Registros do Projeto quanto no Livro de Registros de Pesagem/Lote do Laboratório do Plasma, onde também foi gerado um número de lote.

4.2.4 Preparação de Soluções e Leitura no ICP-OES

A cada amostra foram adicionados progressivamente 10 mL de solução de ácido nítrico (solução preparada com 34,38 ml de HNO₃ a 65% para cada litro de água ultra-pura), sob capela (marca Labconco Purifier Class II Total Exhaust), com tempo de tratamento de aproximadamente 30 minutos. Em algumas amostras constatamos a presença de minúsculos resíduos sólidos de coloração preta ou vermelha. As amostras apresentando estes resíduos foram registradas para eventual correlação com as amostras que apresentaram manchas esverdeadas ou com algum achado geoquímico; nenhuma correlação foi detectada. Estes registros estão mostrados no Quadro 4.2.4.a.

Após tratamento com HNO₃ cada amostra foi transferida para um balão volumétrico (capacidade 50mL), sendo completado com uma solução de HNO₃ até a marca de 50mL. Este volume foi transferido para frascos de polietileno com tampa rosqueada, boca estreita e cor opaca. Os frascos foram previamente identificados com número do lote e número da amostra.

As análises geoquímicas foram realizadas no Laboratório de Plasma do GPA/IGEO/UFBA, utilizando-se um ICP-OES marca Varian Liberty 150 acoplado a um Plasma de Argônio induzido. Os comprimentos de onda das leituras foram 421.552nm para estrôncio; 455.403nm para bário; 279.553nm para magnésio e 317.933nm para cálcio. Os dados obtidos no ICP-OES foram calibrados e planilhas foram geradas para cada lote.

Quadro 4.2.4.a. Número de Amostras dos Testemunhos CLE (Piloto), CAB-2 e CLE (Estudo Principal)

	Piloto	CAB-2	CLE	Total
Extensão de tecido vivo no topo do testemunho (mm)	75	75	75	224
Número de amostras cortadas	17	207	86	310
No. de amostras descartadas	0	4	0	4
Número de amostras com resíduo (R)	4	38	30	72
Número de amostras com mancha verde (M)	<i>não anotado</i>	6	25	31
Número de amostras compatíveis com registros da TSM (base ciclos anuais da razão Sr/Ca), Estudo Principal	-	72	72	144

Quadro 4.2.4.b – Amplitude temporal baseada na extensão linear encontrada no Estudo Piloto (0,86 cm/ano)

	Estudo Piloto (corte a cada par de bandas)	CAB-2 (2mm; extensão total)	CLE-1C (2mm; extensão total)
Número de amostras	17	207	86
No. aproximado de anos	17	52	21,5
Amplitude temporal (anos)	1997-2003	1951-2003	1982 - 2003

4.2.5 Limpeza e Descontaminação da Vidraria

As atividades de limpeza e descontaminação da vidraria utilizada na fase de laboratório seguiram padrões internacionalmente aceitos.

4.2.6 Equipe de Laboratório

Todas as atividades de laboratório foram executadas nas dependências do Grupo de Petrologia Aplicada do Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, no período entre julho de 2006 a janeiro de 2007. Um regime de revezamento foi elaborado para permitir a operação contínua do projeto no horário de expediente do ICP-OES durante a fase de laboratório, envolvendo as atividades de corte, descontaminação, secagem, pesagem, suporte ao pessoal do ICP-OES durante a leitura das amostras, além de descontaminação da vidraria utilizada. Integraram a equipe de projeto a Geol. Priscila Martins Gonçalves, o Geogr. Alexandre Santos Magalhães, os acadêmicos em Oceanografia Ricardo Marques Domingues e Carlos Valério Mendonça Filho. O número total de homem/hora estimado para esta fase foi de 2.640, conforme Quadro 4.2.6.

Quadro 4.2.6 - Memória de Cálculo de Hora/Homem – Fase de Laboratório

Período	Memória de cálculo	Hora/homem
Julho a outubro 2006	22 dias x 6 horas x 4 meses x 3 pessoas	1.584
Nov/2006 a janeiro 2007	22 dias x 8 horas x 3 meses x 2 pessoas	1.056
	Total	2.640

Este cálculo não inclui o tempo dedicado pelos membros da equipe às atividades de treinamento e descontaminação prévia de vários itens, nos meses antecedentes aos registrados acima; tampouco inclui o tempo dedicado pelos membros do GPA às atividades específicas do Laboratório de Plasma, treinamento da equipe do projeto, supervisão, preparo das soluções ácidas, leitura e calibração dos dados geoquímicos.

4.3 Trabalho de Escritório

4.3.1 Dados da TSM (Temperatura da Superfície do Mar)

Os únicos dados instrumentais disponíveis da temperatura da superfície do mar na região de Abrolhos são medições realizadas pelo Rádio Farol de Abrolhos (RFA) desde 1973; tais medições são realizadas diariamente por volta das 09:00h por um funcionário do Farol.

Os dados da TSM coletados pela RFA foram utilizados no Estudo Piloto, ao passo que no Estudo Principal foram utilizados dados da TSM coletados a partir de 1985 pelo satélite AVHRR Pathfinder Version 5.0 da NOAA, cujas médias mensais estão incluídas no Apêndice 1. A utilização destes dados no Estudo Principal deu-se após aplicação do algoritmo de correção para temperaturas noturnas, o qual evita a interferência da variação diurna na reflectância medida.

Os dados da TSM foram normalizados utilizando-se a média e desvio padrão do intervalo, conforme a fórmula:

$$T_n = T_r - X/DP$$

Onde: T_n = temperatura normalizada, T_r = temperatura registrada, X = média e DP = desvio padrão.

4.3.2 *Recebimento de Leituras do ICP-OES, Análise de Consistência e Interpolação de Dados*

Após o recebimento das leituras calibradas do ICP, foi realizada uma análise inicial para detectar eventuais inconsistências; esta é uma prática recomendada pelo Laboratório de Plasma do GPA/IGEO. Em relação às poucas amostras não lidas por motivo de descarte na fase de preparação, ou outras razões técnicas, as lacunas dos dados foram preenchidas através de interpolação linear, conforme exemplificado abaixo:

Exemplo 1: 1=5ppm; 2=falha; 3=7ppm
Valor de 2 = $5 + [(7-5)/2]$

Exemplo 2: 1=5ppm; 2=falha; 3=falha; 4=7ppm
Valor de 2 = $5 + [(7-5)/3]$
Valor de 3 = $5 + 2 \times [(7-5)/3]$

4.3.3 *Transformação de $\mu\text{g/mL}$ Para mmol/mol e Cálculo das Razões Sr/Ca, Mg/Ca e Ba/Ca*

As leituras realizadas pelo ICP/OES ($\mu\text{g/mL}$ ou ppm) foram transformadas em mmol/mol , com o objetivo de obter uma melhor comparação das razões Ba/Ca com Sr/Ca e Mg/Ca, pois a concentração de Ba é muito inferior àquela de Sr e Mg. Esta transformação foi realizada conforme a fórmula seguinte:

$$\text{ppm} \times \text{massa atômica} \times 1000$$

As massas atômicas utilizadas no estudo foram publicadas pelo IUPAC (*International Union of Pure and Applied Chemistry*) em 30/10/05; sendo acessadas no site www.iupac.org em 20/11/06), conforme segue: Ca = 40,078; Ba=137,327; Mg=24,3050; Sr=87,62. Em seguida foi calculada a razão de cada elemento em relação ao cálcio.

4.3.4 *Crítérios para Determinação de Ciclos Anuais e Semestrais com Base na Diagramação das Razões Geoquímicas*

Diferente do estudo piloto, o desenho amostral deste estudo (Principal) não foi associado ao bandamento da densidade, sendo estabelecida uma “cronologia geoquímica” utilizando-se a diagramação das razões geoquímicas encontradas. Esta “cronologia geoquímica” provavelmente está associada a erros, já que a esqueletogênese não é um processo linear e apresenta diferenças intra-específicas; entretanto, como as

amostras aqui estudadas não foram submetidas a estudos de datação, não temos elementos para informar a margem de erro associada. Os dados brutos das análises realizadas estão apresentados nos Apêndices 2 a 4.

Inicialmente foram calculadas as razões entre cada elemento traço (Sr, Mg e Ba) e cálcio. Estas razões foram diagramadas para determinação das médias anuais e semestrais, conforme ilustrado na Figura 4.1, utilizando-se a seguinte estratégia:

- *médias anuais*: os valores encontrados em cada ciclo (dois vales e um pico) foram somadas e este valor foi dividido pelo respectivo número de amostras de cada ciclo;
- *médias semestrais*: a partir do intervalo anual, os valores máximos e mínimos foram considerados como as médias semestrais; no caso específico da razão Sr/Ca, os valores máximos (picos) correspondem à média do semestre mais frio e os valores mínimos (vales) correspondem à média do semestre mais quente.

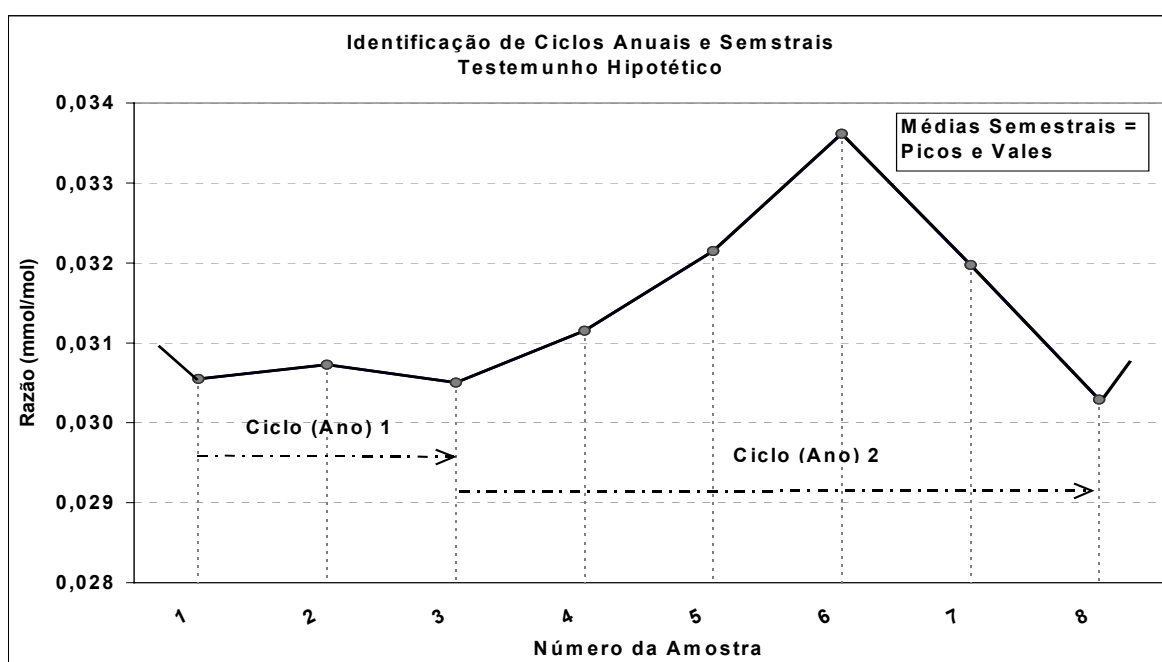


Fig. 4.1 Identificação de Ciclos Geoquímicos – Testemunho Hipotético

4.3.5 Tratamento Estatístico dos Dados Geoquímicos e da TSM

A normalização das médias geoquímicas e da temperatura foi realizada da seguinte maneira: (a) média e o desvio padrão foram obtidos para cada série de dados; (b) de cada valor da série foi subtraído o valor da média e o resultado dividido pelo desvio padrão, ou seja:

$$V_{\text{Norm}} : (V_{\text{AX}} - X) / \text{DP}$$

Onde V_{Norm} = valor normalizado; V_{AX} = valor medido, X = média da série, DP = desvio padrão da média da série. Os dados normalizados foram utilizados na construção dos gráficos que ilustram a série de cada razão nas diversas estações de coleta, assim como dos gráficos que comparam as séries geoquímicas e de temperatura.

Com o intuito de verificar a existência de alguma relação entre os ciclos geoquímicos e a TSM, as duas séries de dados normalizadas foram comparadas através de diagramas, dispersão de dados, coeficientes de Pearson's (R^2), covariância e também através de uma análise progressiva do comportamento das duas séries entre cada intervalo de dados pareados a partir do ano 1985. Esta análise progressiva das tendências antagônicas e síncronas complementa a dispersão de dados e o coeficiente de Pearson e permite identificar o padrão de comportamento (ou relação) ao longo da linha de tempo (2003-1985) e analisar eventuais correlações com anomalias da TSM. Para fins desta análise, antagonismo significa tendências opostas entre as duas séries de dados (aumento ou redução), sincronismo significa tendências similares entre as duas séries de dados e indefinição representa situações em que a série geoquímica não se altera no intervalo pareado. A Figura 4.2 ilustra a análise desta relação no pareamento defasado da razão Sr/Ca e da TSM no testemunho CAB-2; neste exemplo existem 18 intervalos pareados, sendo os nove antagônicos identificados com uma barra sobre o eixo.

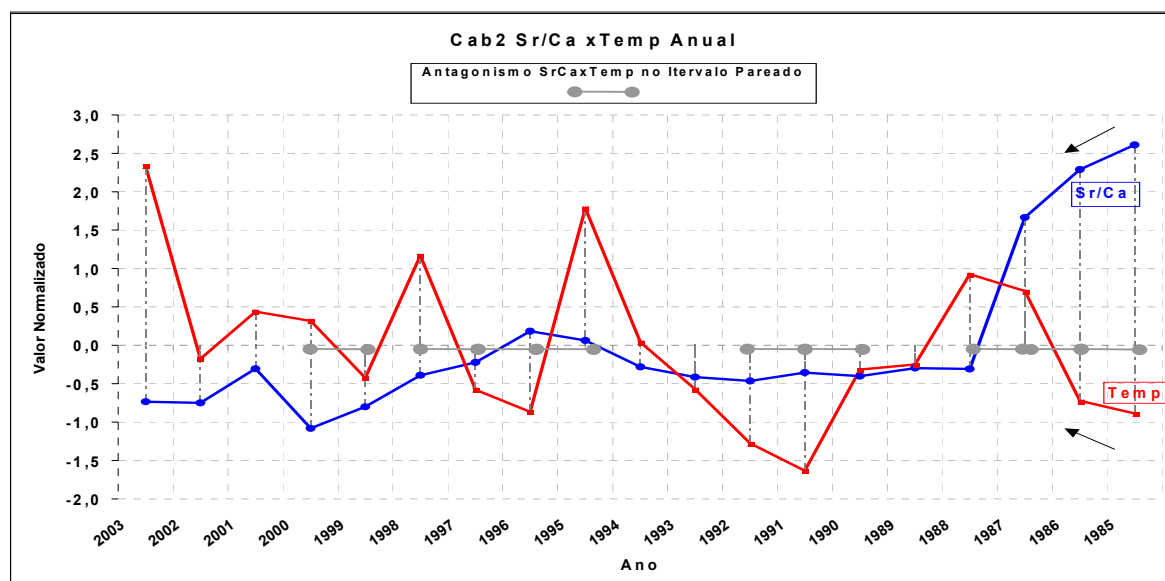


Figura 4.2 – Exemplo de análise de relação (comportamento) entre as séries geoquímicas e TSM

A partir desta análise foram também computados e diagramados os respectivos percentuais de comportamento antagônico, síncrono e indefinido. A Figura 4.3. resume os passos seguidos nesta análise complementar das relações ou comportamentos entre as séries geoquímicas e da TSM.

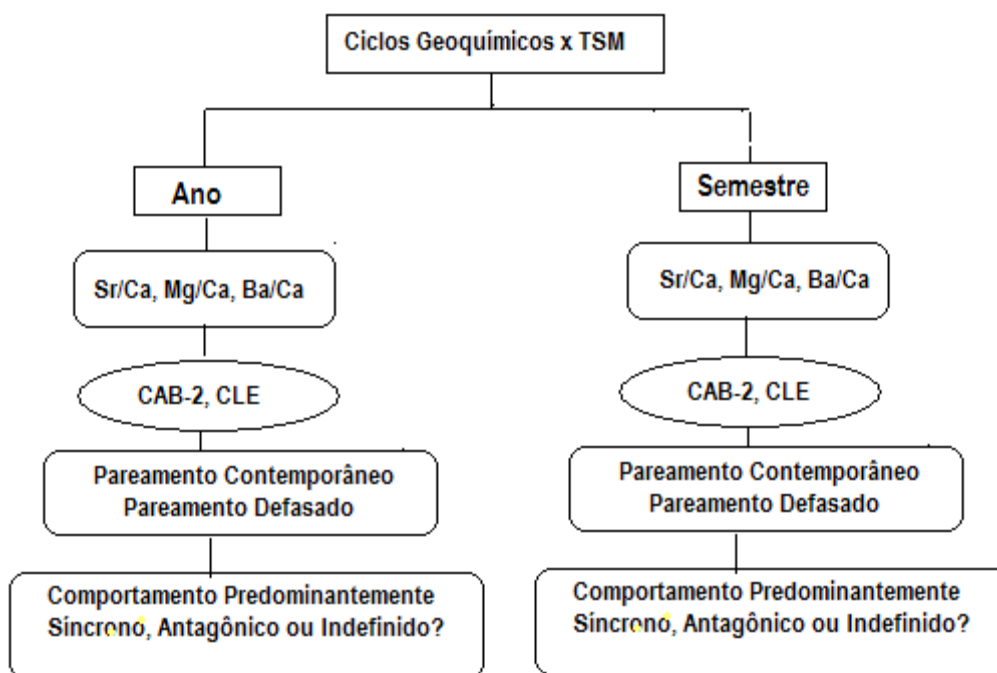


Figura 4.3 – Fluxograma do pareamento de dados geoquímicos x TSM

A razão que levou a autora a aplicar a defasagem (*lag*) foi testar a existência de efeitos tardios da temperatura sobre a maior disponibilidade dos elementos Sr, Mg e Ba durante a esqueletogênese, um dos objetivos específicos deste estudo. Dentre outros aspectos, a confirmação deste possível efeito tardio teria um impacto direto sobre o número de amostras a serem analisadas em estudos futuros nesta área, otimizando recursos naturais, energéticos e financeiros.

5. RESULTADOS

Estudo Piloto

Neste estudo preliminar foram encontradas concentrações variando de 4800 a 5500 ppm para estrôncio, 829 a 1215 ppm para magnésio e 2 a 10 ppm para bário. O intervalo temporal coberto pelo bandamento anual corresponde ao período de 2003 a 1997. A análise progressiva do pareamento dos dados geoquímicas e da TSM (RFA) (Figuras 5.1, 5.2 e 5.3.) revela que as razões Sr/Ca e Mg/Ca se comportaram de forma predominantemente síncrona em relação à TSM, ao passo que a razão Ba/Ca se comportou de forma predominantemente antagônica.

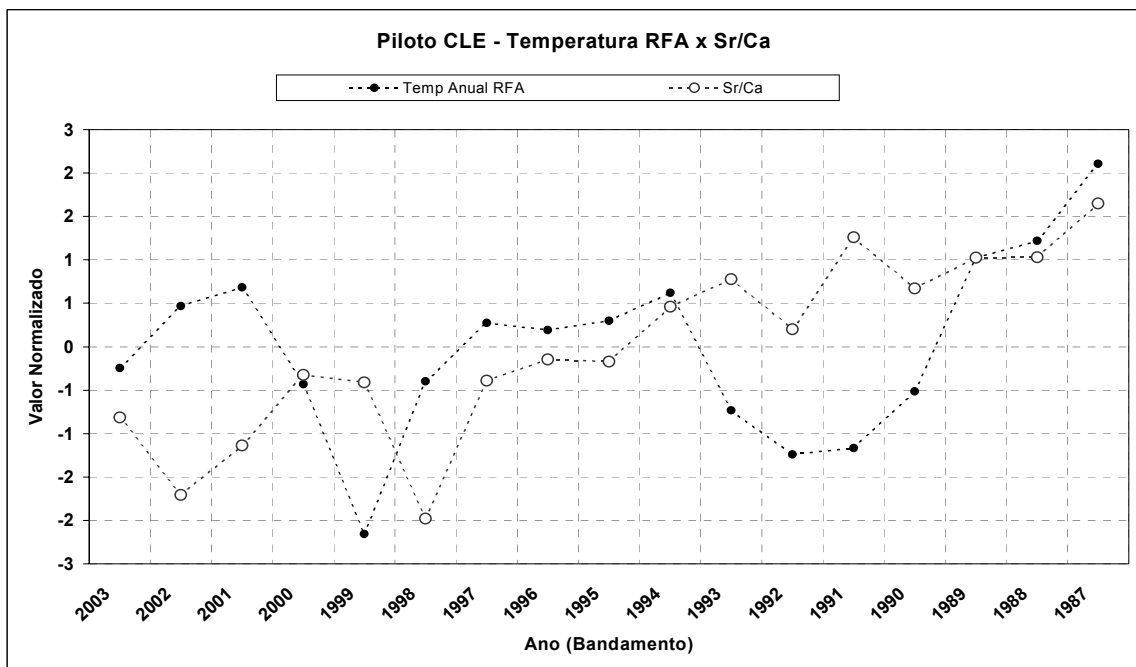


Fig 5.1. Estudo Piloto; variação anual da razão Sr/Ca no testemunho CLE, amostrado por banda.

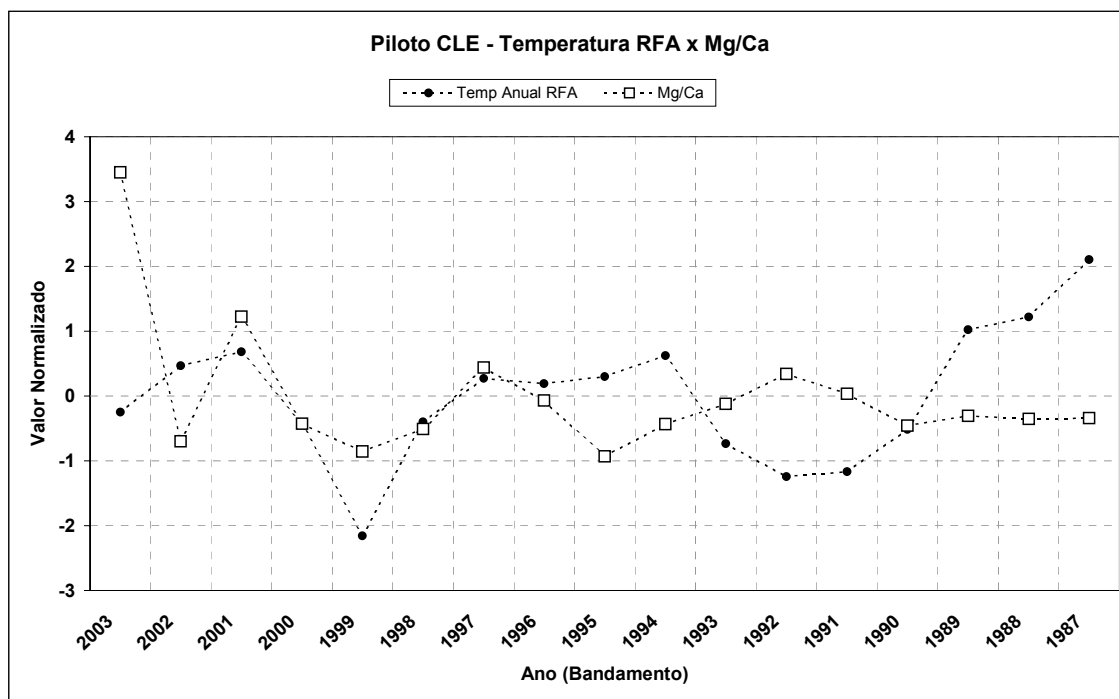


Fig 5.2 Estudo Piloto; variação anual da razão Mg/Ca no testemunho CLE, amostrado por banda.

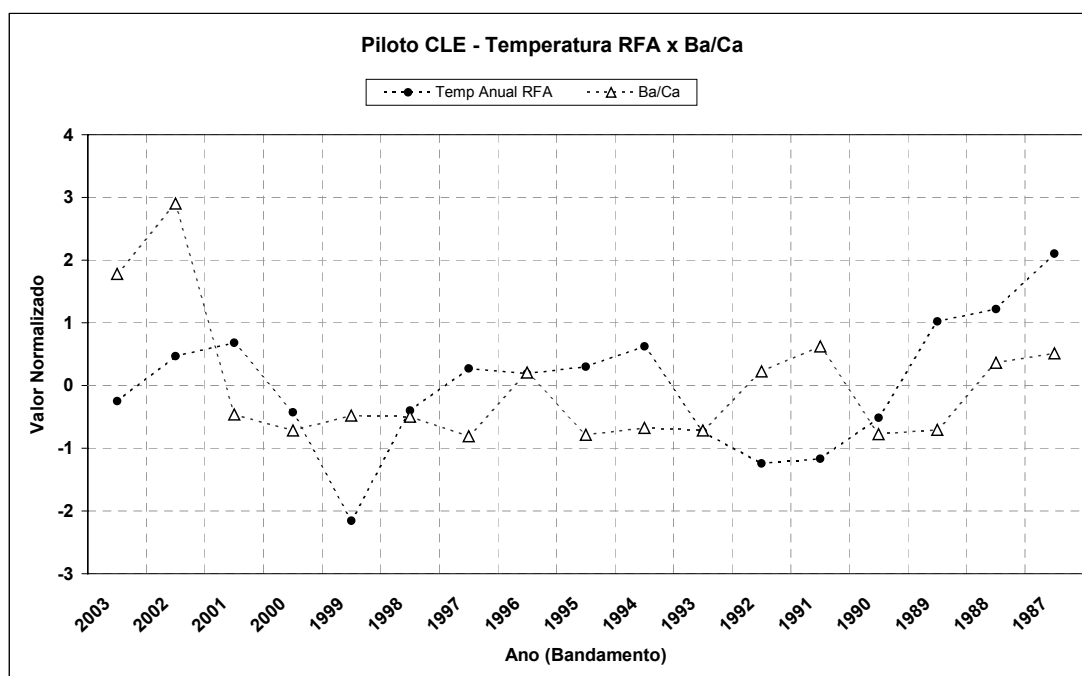


Fig 5.3 Estudo Piloto; variação anual da razão Ba/Ca no testemunho CLE, amostrado por banda.

Os resultados relativos ao estudo Piloto foram indicações acerca do método de preparação e da digestão das amostras para a leitura das concentrações dos elementos Sr, Mg, Ba e Ca, na realização do Estudo Principal: (a) o peso mínimo requerido para cada amostra (0,1g) foi menor do que o peso previamente estimado (0,2g); (b) a utilização de tubos de ensaio provou ser custo-efetiva e mais rápida, desde que a granulometria varie do tamanho areia a grânulos e o período de secagem das amostras na placa aquecedora não seja excessivo, evitando-se perda adicional de amostra e defasagem na eliminação de matéria orgânica; (c) a adição progressiva de H₂O₂ provou ser mais eficaz do que a adição única; e (d) como os resultados analíticos estavam dentro da amplitude esperada, a utilização de duplicatas foi descontinuada no estudo principal.

Estudo Principal

As amplitudes das concentrações elementais encontradas neste estudo foram 203 a 2260 ppm para magnésio, 4553-8194 ppm para estrôncio e 0 a 17 ppm para bário.

Os resultados descritos a seguir estão classificados por intervalo temporal (ano e semestre), razão geoquímica (Sr/Ca, Mg/Ca Ba/Ca) e testemunho (CAB-2 e CLE). Os resultados incluem tabelas e quadros ilustrando os dados geoquímicos encontrados nos dois testemunhos, diagramação das razões geoquímicas, diagramação de valores normalizados das razões geoquímicas *versus* TSM, diagrama de dispersão das razões geoquímicas *versus* TSM e os respectivos coeficientes de Pearson (R²), além de gráficos que resumem os percentuais de antagonismo e sincronismo encontrados na análise progressiva de cada par de dados pareados ao longo do tempo. Todas as comparações incluem pareamento contemporâneo e pareamento defasado dos dados, em ordem cronológica decrescente, pois à exceção do ano em que foi feita a coleta (2003), todos os demais anos indicados são estimados com uma margem de erro de 2 a 4 anos.

Com o intuito de agilizar a identificação dos gráficos apresentados neste capítulo, utilizou-se a seguinte codificação alfa-numérica:

1º algarismo	Número do capítulo (5)
2º algarismo	Intervalos de tempo: 1=anual; 2=semestral
3º algarismo	Razão geoquímica: 1=Sr/Ca; 2=Mg/Ca; 3=Ba/Ca.
4º algarismo	Testemunho: 1=CAB-2; 2=CLE.
Letra a	Diagramação das séries de dados geoquímicos <i>versus</i> TSM, pareamento contemporâneo
Letra b	Diagramação das séries de dados geoquímicos <i>versus</i> TSM, pareamento defasado
Letra c	Dispersão dos dados geoquímicos <i>versus</i> TSM, pareamento contemporâneo
Letra d	Dispersão dos dados geoquímicos <i>versus</i> TSM, pareamento defasado
Letra e	Comportamento entre as séries geoquímicas e da TSM, pareamento contemporâneo
Letra f	Comportamento entre as séries geoquímicas e da TSM, pareamento defasado

5.1. Intervalo Anual

O valor anual médio da TSM registrado entre 2003 e 1985 é de 25,8 °C, com máxima em 26,5°C e mínima em 25,4 °C, conforme ilustrado no Quadro 5.1. Estes valores foram calculados a partir das médias mensais registradas pelo Satélite Pathfinder NOAA V. 5 , as quais estão apresentadas no Apêndice 1.

Quadro 5.1 – Médias Anuais da TSM 2003-1985

Ano	Temp Celsius	Valor Normalizado
2003	26,5	2,33
2002	25,8	-0,18
2001	25,9	0,44
2000	25,9	0,32
1999	25,7	-0,43
1998	26,1	1,17
1997	25,7	-0,58
1996	25,6	-0,87
1995	26,3	1,78
1994	25,8	0,04
1993	25,7	-0,57
1992	25,5	-1,28
1991	25,4	-1,63
1990	25,7	-0,32
1989	25,7	-0,25
1988	26,1	0,92
1987	26,0	0,71
1986	25,6	-0,72
1985	25,6	-0,89
<i>Média</i>	25,8	
<i>Desvio Padrão</i>	0,27	
T_{max}	26,5	
T_{min}	25,4	

Após o cálculo das razões geoquímicas de todas as amostras cortadas neste testemunho, as mesmas foram plotadas para identificação dos ciclos anuais. Neste estudo entende-se como ciclo anual o intervalo entre dois pontos máximos (picos), incluindo um ponto mínimo (vale). Como os dados de temperatura só começaram a ser registrados por este satélite a partir de 1985, neste estudo os dados geoquímicos foram organizados em dois grupos distintos; no Grupo I estão os dados dos ciclos anuais geoquímicos encontrados em cada testemunho antes e após o início do registro da TSM e no Grupo II estão apenas os dados dos ciclos registrados após o início do registro da TSM. Como a extensão amostrada no testemunho CAB-2 (41,4 cm) foi maior do que aquela do testemunho CLE (17,2 cm), o número de ciclos encontrados no Grupo I será sempre maior para CAB-2. As Tabelas 5.1.1 a 5.1.3 ilustram os dados anuais, ao passo que os dados semestrais são apresentados nas Tabelas 5.2.1. a 5.2.3.

5.1.1 Sr/Ca – Visão geral

Após constatar a existência de ciclicidade anual das razões Sr/Ca encontrada nas amostras dos testemunhos CAB-2 e CLE, o próximo passo foi verificar se estas razões se comportam de maneira similar. A diagramação das razões encontradas nos dois testemunhos está ilustrada na Figura 5.1.1, revelando uma curiosa alternância de fases síncronas e antagônicas entre os dois testemunhos, considerando-se simultaneamente os intervalos de dados pareados a partir da base (1985).

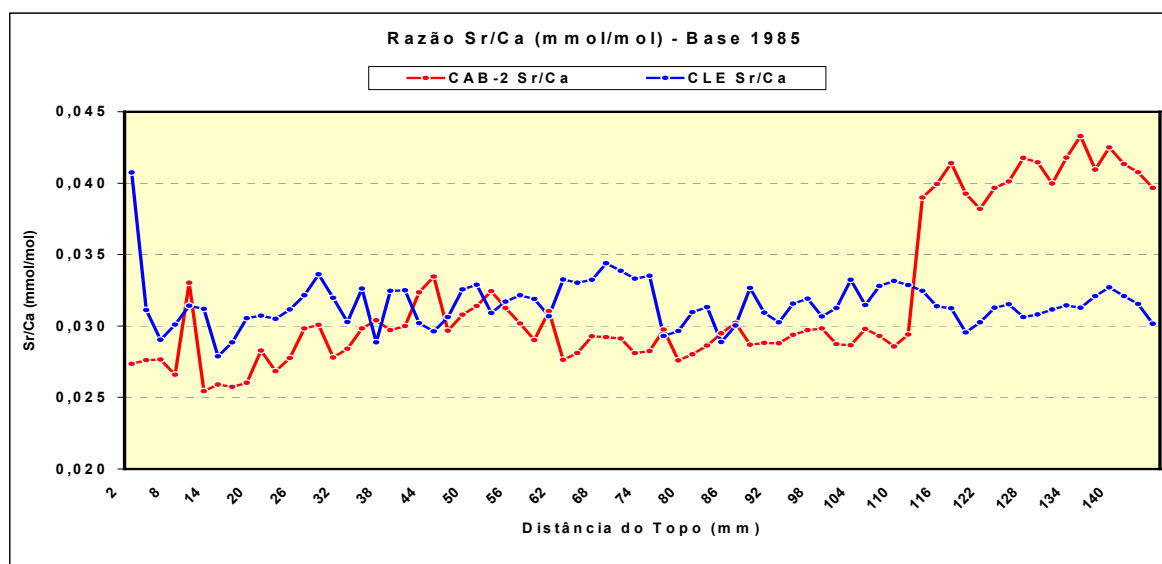


Fig 5.1.1 Comparação da razão Sr/Ca medida em CAB-2 e CLE

As séries de dados observadas nos dois testemunhos são bastante distintas em seus comportamentos. Enquanto que o testemunho CLE, coletado no recife da Pedra de Leste, apresenta um comportamento aproximadamente homogêneo no intervalo considerado, a série obtida no testemunho CAB-2, coletado no recife Parcel dos Abrolhos, mantém-se elevada em relação a CLE desde a base até cerca de 114 do topo, quando apresenta um declive acentuado e passa a ter uma relação predominantemente negativa em relação a CLE até o topo.

A Tabela 5.1.1. apresenta os dados dos ciclos anuais da razão Sr/Ca encontrados em CAB-2 e CLE. Os valores das razões máximas e mínimas encontradas em ambos grupos foram registrados com o intuito de demonstrar o grau de similaridade entre os ciclos geoquímicos totais encontrados em todas as amostras cortadas em cada testemunho e aqueles ciclos “compatíveis” com os registros da TSM. O número de ciclos geoquímicos anteriores ao início do registro da TSM e a alocação temporal (ano/semestre) são também informados. É importante observar que neste estudo foi aplicada uma “cronologia geoquímica” decrescente, sendo a primeira amostra correspondente ao topo de cada testemunho coletado em novembro de 2003. Na aplicação da defasagem foi desprezado o primeiro dado da série da TSM e o último dado da série das razões Sr/Ca. Todas as covariâncias encontradas no pareamento de dados contemporâneos e com defasagem estão registradas nesta tabela.

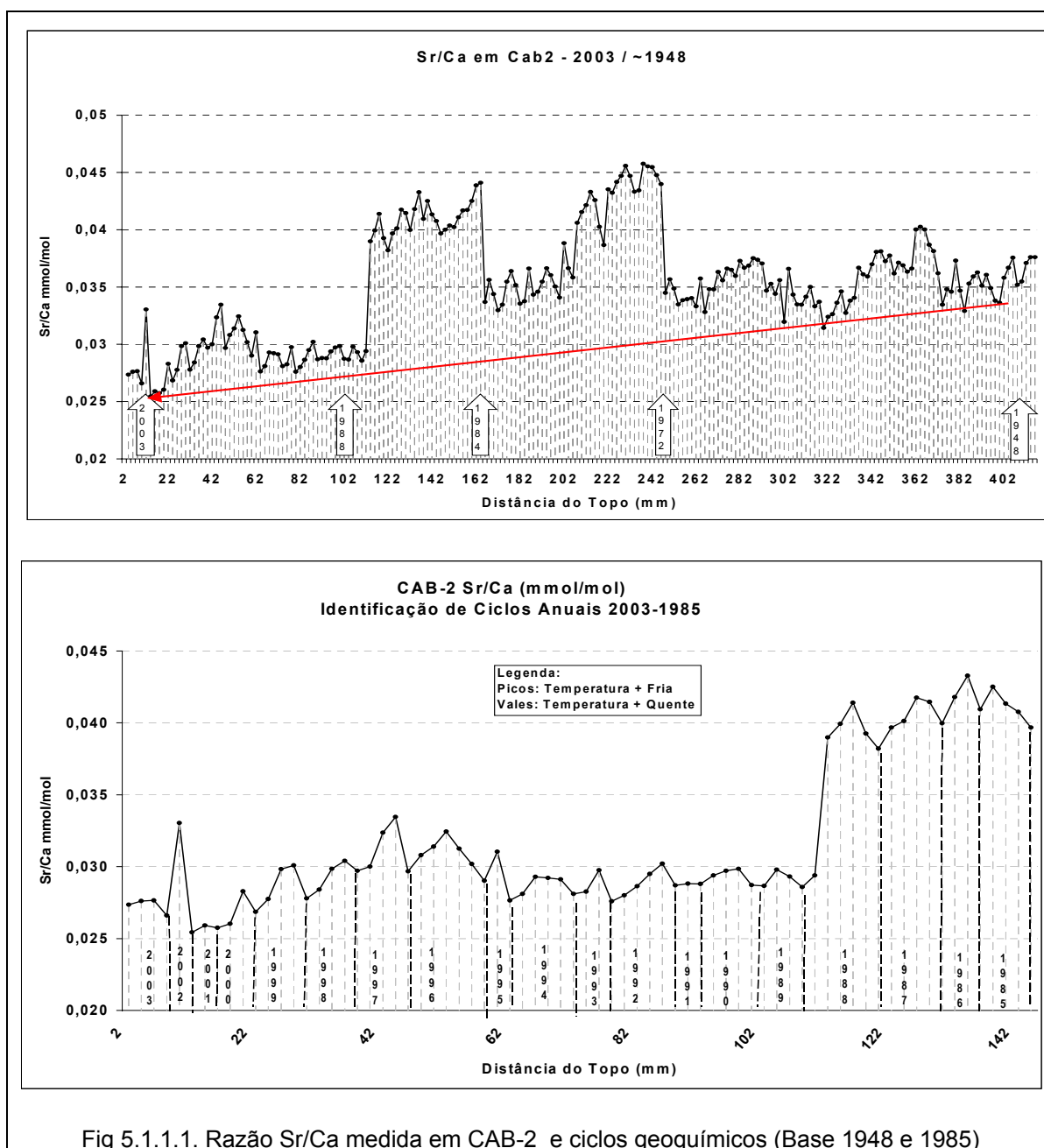
Tabela 5.1.1 – Visão geral dos ciclos anuais da razão Sr/Ca nos testemunhos CAB-2 e CLE

	CAB-2	CLE
Grupo I - Ciclos totais (anteriores e posteriores ao registro da TSM)	56	23
Ciclo anual geoquímico mais antigo (aproximado)	1948	1980
No. de ciclos anuais geoquímicos anteriores ao registro de temperatura	38	5
Razão máxima neste período	0,0444926	0,0337023
Razão mínima neste período	0,0258228	0,0301471
Grupo II - Ciclos posteriores ao registro da TSM	18	18
Razão máxima	0,0420053	0,0337023
Razão mínima	0,0258228	0,0301471
Média	0,0305683	0,0315572
Desvio Padrão (DP)	0,0043821	0,0010102
Média + 2DP	0,0393325	0,0335775
Média – 2DP	0,0218041	0,0295369
Coeficiente de determinação (R^2) obtido na regressão linear, pareamento contemporâneo das séries geoquímicas e de temperatura	$y = -11,658x + 26,17$ $R^2 = 0,0349$	$y = 140,62x + 21,376$ $R^2 = 0,2699$
Covariância do pareamento contemporâneo das séries geoquímicas e de temperatura	-0,0019643	0,5195198
LAG - Coeficiente de determinação (R^2) após aplicação de defasagem (lag) no pareamento dos dados	$y = -12,819x + 26,162$ $R^2 = 0,0375$	$y = 7,5574x + 25,54$ $R^2 = 0,0011$
LAG – Covariância após aplicação de defasagem (lag) no pareamento dos dados	-0,0002325	0,0294295

Não são observadas alterações nos valores máximos e mínimos da razão Sr/Ca em cada testemunho no Grupo I e no Grupo II, à execução de CAB-2, que apresenta uma pequena diferença no valor máximo após 1985. Este achado indica que provavelmente não houve alterações importantes nos ciclos anteriores ao registro da TSM. Não se observa uma variação importante nas médias dos dois testemunhos (Grupo II).

5.1.1.1 Sr/Ca – Testemunho CAB-2

O diagrama das razões Sr/Ca medidas neste testemunho CAB-2 estão diagramadas na parte superior da Figura 5.1.1.1. Revela uma redução progressiva dos valores mínimos (vales) entre os anos 1948 e 2003 e a tendência geral de diminuição da razão no sentido do topo do testemunho. Levando-se em conta que existe uma relação inversa postulada entre esta razão e a TSM (Weber 1973; Goreau 1977), esta tendência pode indicar um aumento progressivo da TSM no período de crescimento deste coral. Padrões cíclicos podem também ser observados, com dois longos intervalos anômalos registrados entre 1972 e 1984. Desta forma, a série pode ser subdividida em 6 intervalos distintos: um que inicia no topo e vai até a profundidade de 112 mm (a partir do topo), o segundo, que inicia em 112 mm e chega aos 182 mm; o terceiro que inicia na profundidade do testemunho de 182 mm e se estende até a profundidade de 212 mm; o quarto intervalo que vai da base do intervalo anterior até 246 mm; o quinto intervalo segue até a profundidade de 322 mm e o sexto e último vai até a base de testemunho. Na parte inferior da Figura 5.1.1.1 encontra-se o diagrama das razões Sr/Ca desde 1985, quando teve início o registro da TSM pelo Satélite Pathfinder 5.0. Imagens ampliadas deste e dos demais diagramas ilustrando os ciclos anuais estão incluídas no Apêndice 5.



O diagrama das razões médias anuais da TSM e da razão Sr/Ca encontradas neste testemunho está ilustrado na Figura 5.1.1.1.a, sendo que o topo corresponde a 2003 e a base corresponde aproximadamente a 1948. Ao longo do período em questão, a razão Sr/Ca tende a diminuir enquanto que a temperatura média anual da superfície do mar tem uma tendência inversa, de elevação. Essa tendência geral inversa entre os dados da razão Sr/Ca e da TSM corresponde ao comportamento esperado da incorporação de Sr no esqueleto

do coral (Weber 1973; Goreau 1977). A Figura 5.1.1.1.b ilustra o comportamento dos dados de temperatura e da razão Sr/Ca no testemunho CAB-2 entre os anos 2003 e 1985, com aplicação da defasagem (*lag*) de um ano. A análise progressiva do pareamento das séries de dados contemporâneos revela um comportamento predominantemente antagônico, o qual passa a predominantemente síncrono após a aplicação da defasagem.

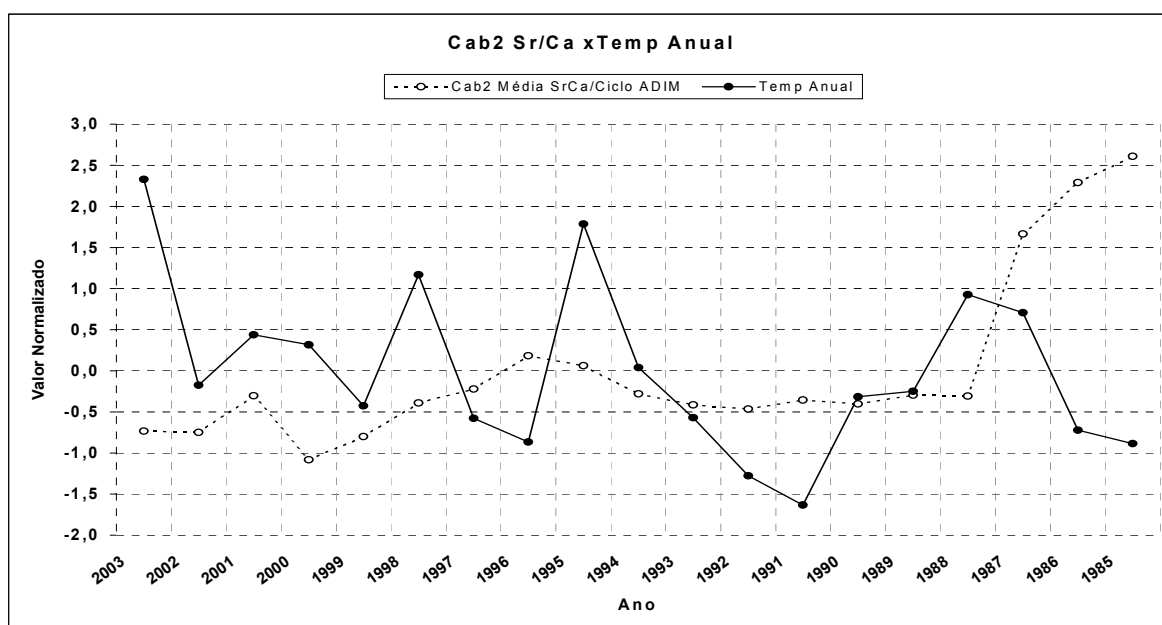


Fig 5.1.1.1.a – Razão Sr/Ca versus TSM em CAB-2

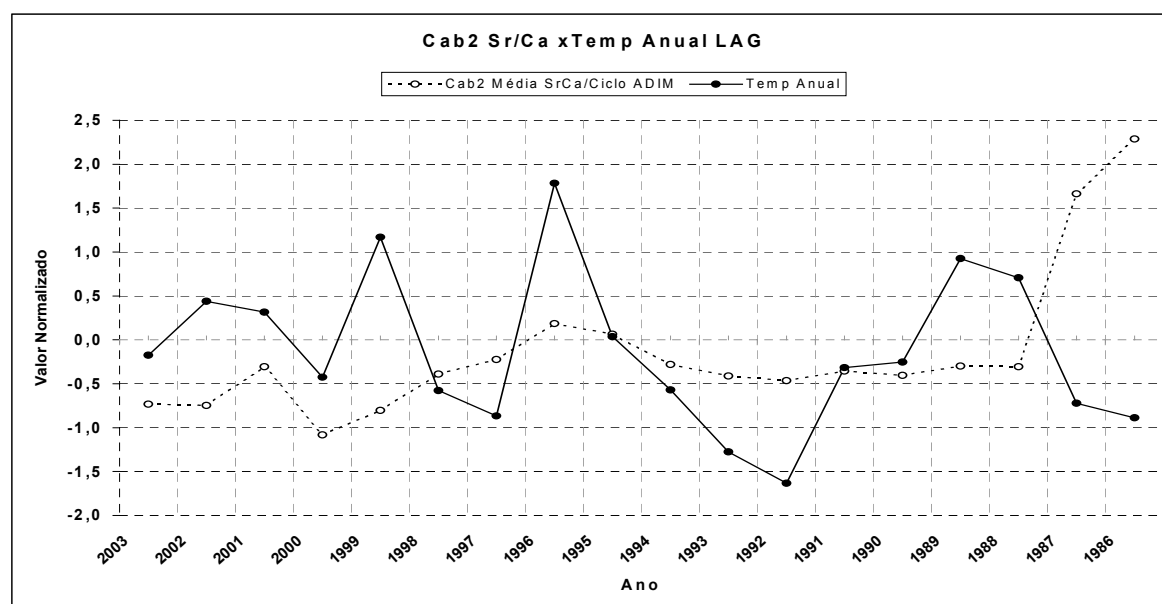


Fig 5.1.1.1.b – Razão Sr/Ca versus TSM (com defasagem) em CAB-2

As Figuras 5.1.1.1.c e d ilustram a dispersão dos dados da razão Sr/Ca em função da TSM no testemunho CAB-2 entre os anos 2003 e 1985, respectivamente sem e com aplicação da defasagem (*lag*) de um ano. Existe uma relação inversa entre a razão geoquímica e a TSM, como esperado, mas ela é muito fraca. A aplicação da defasagem não alterou de maneira significativa o coeficiente de determinação.

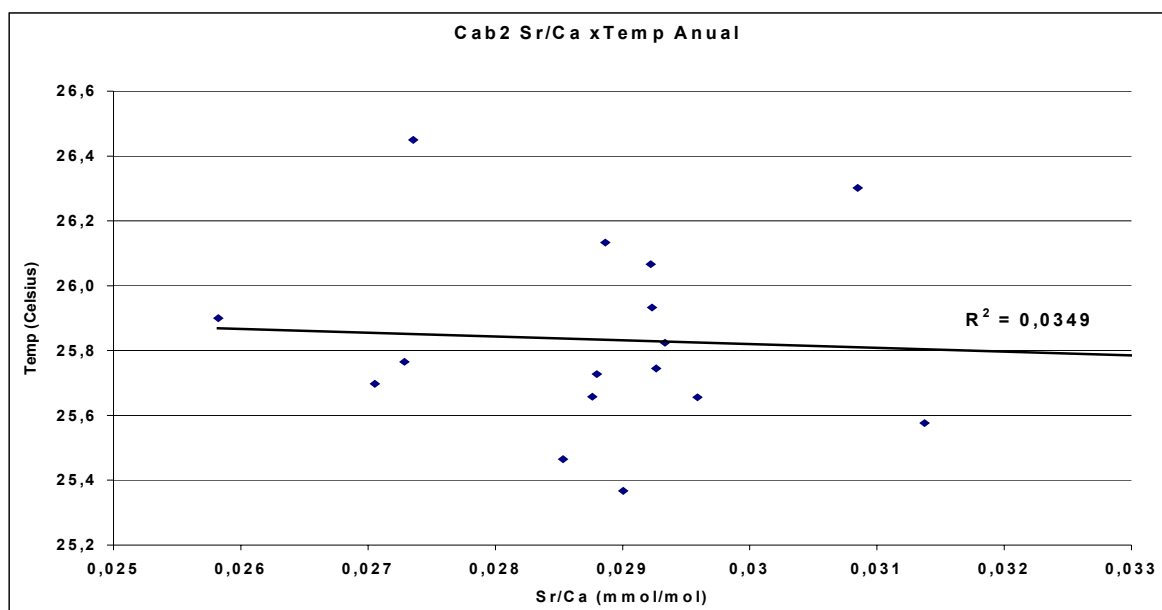


Fig 5.1.1.1.c - Dispersão de dados - Sr/Ca versus TSM em CAB-2

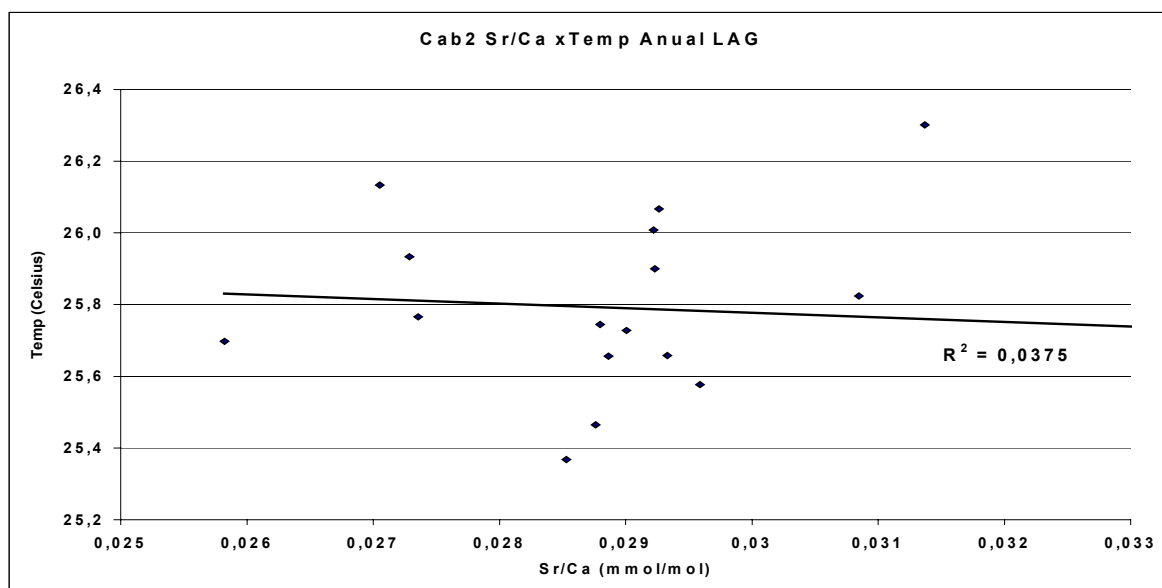


Fig 5.1.1.1.d – Dispersão de dados - Sr/Ca versus TSM (com defasagem) em CAB-2

5.1.1.2 Sr/Ca – Testemunho CLE

A diagramação das razões Sr/Ca encontradas em todas as amostras deste testemunho está ilustrada na Figura 5.1.1.2, sendo o topo correspondente a 2003 e a base a 1985. Nesta série não se encontra uma clara tendência de diminuição da razão Sr/Ca, como visto nos resultados das análises do testemunho CAB-2, no item anterior. Existem intervalos onde a concentração Sr/Ca é relativamente baixa, tal como o intervalo entre 14 e 20 mm e o de 76 a 90 mm. Imagens ampliadas deste e dos demais diagramas ilustrando os ciclos anuais estão incluídas no Apêndice 5.

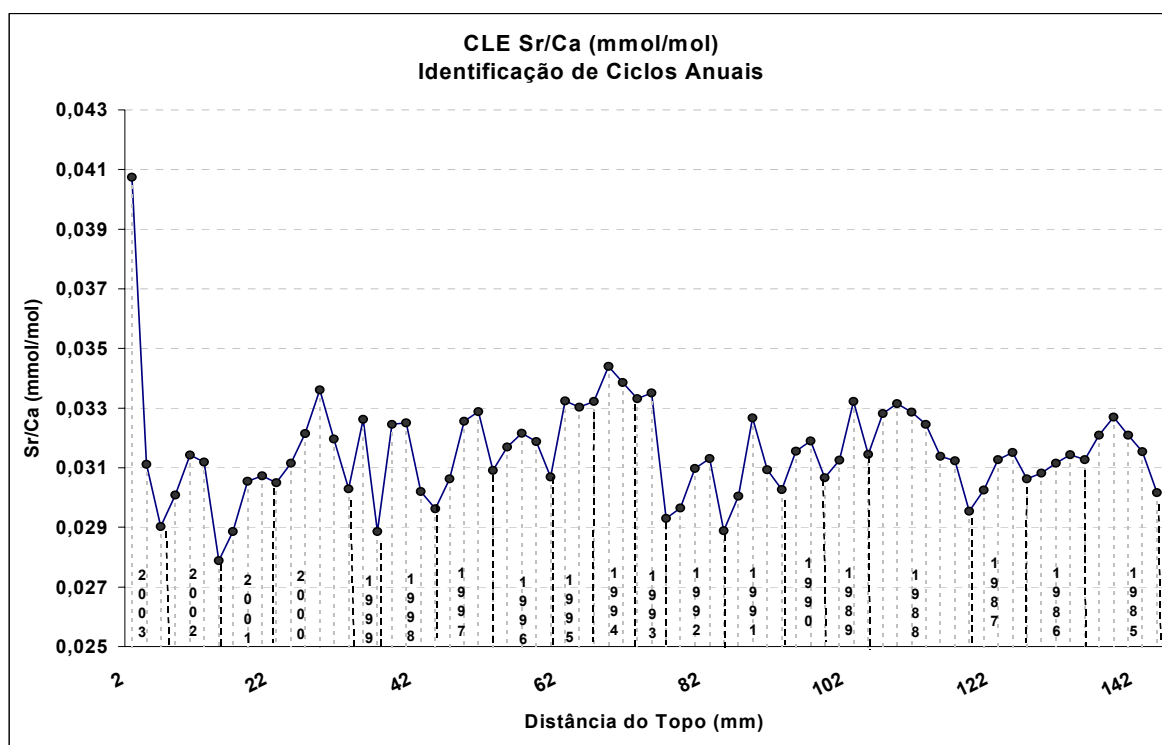


Fig 5.1.1.2. Razão Sr/Ca medida em CLE e ciclos geoquímicos

As Figuras 5.1.1.2.a e b ilustram o comportamento dos dados de temperatura e da razão Sr/Ca medida no testemunho CLE entre os anos 2003 e 1985, respectivamente sem e com aplicação da defasagem. Nesses diagramas também não se encontra uma tendência de redução na razão Sr/Ca, que acompanhe a tendência de aumento na TSM. As curvas parecem se conformar ao longo do tempo. Ao contrário de CAB-2, a análise progressiva do pareamento das séries de dados contemporâneos revela um comportamento predominantemente síncrono, o qual passa a predominantemente antagônico após a aplicação da defasagem (*lag*).

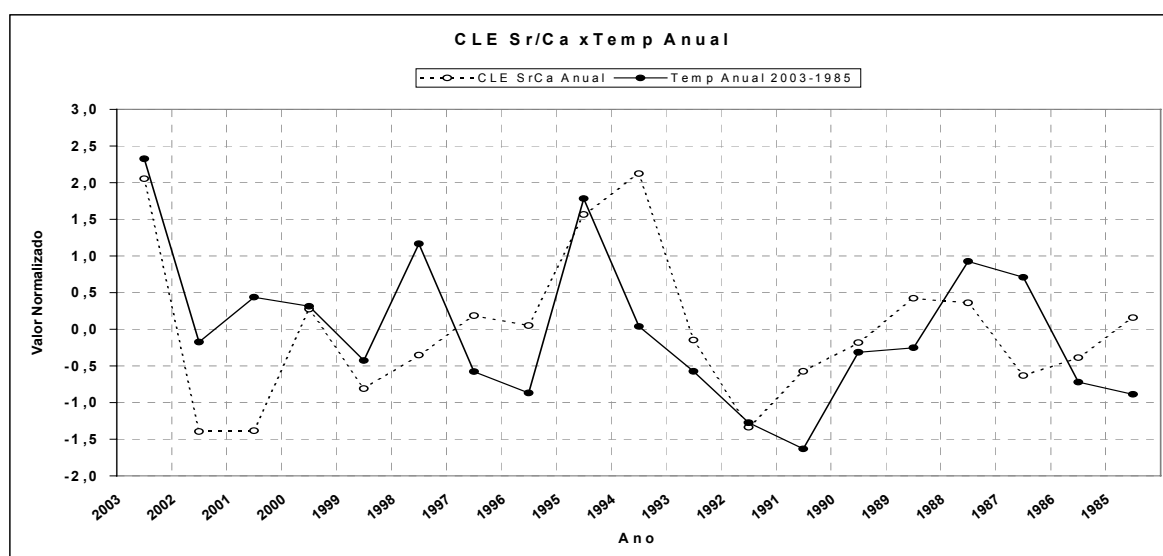


Fig 5.1.1.2.a – Razão Sr/Ca versus TSM em CLE

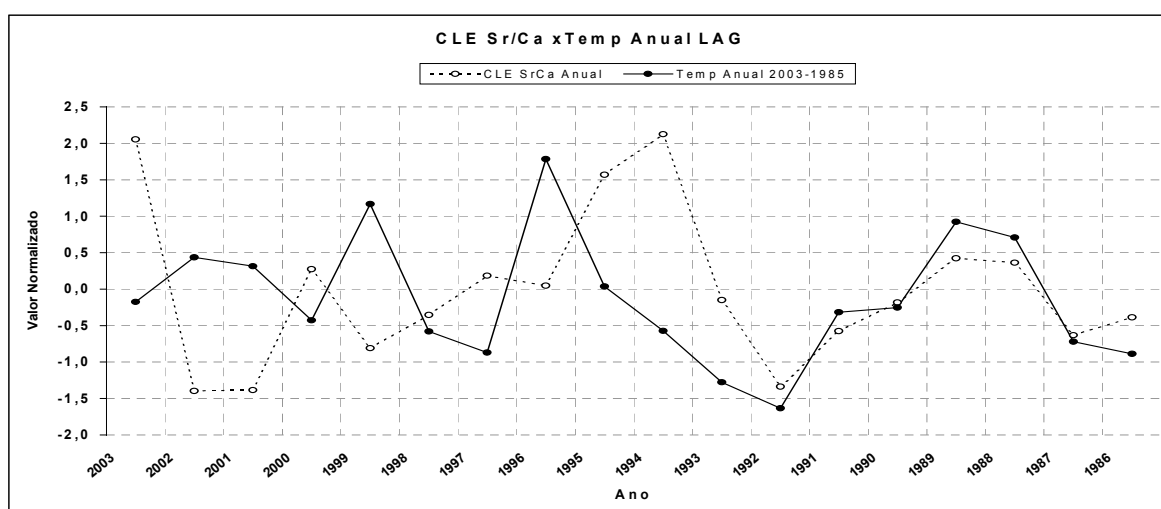


Fig 5.1.1.2.b – Razão Sr/Ca versus TSM (com defasagem) em CLE

As Figuras 5.1.1.2.c e d ilustram a dispersão dos dados da razão Sr/Ca em função da TSM no testemunho CLE entre os anos 2003 e 1985, respectivamente sem e com aplicação da defasagem (*lag*) no pareamento das séries de dados geoquímicos e da TSM. Ao contrário do que observou no testemunho CAB-2, neste caso a relação encontrada é direta, indicando um comportamento distinto da incorporação do Sr em relação à TSM, daquele preconizado na literatura (Weber 1973; Goreau 1977). A aplicação da defasagem reduziu o coeficiente de determinação e tornou a relação indefinida.

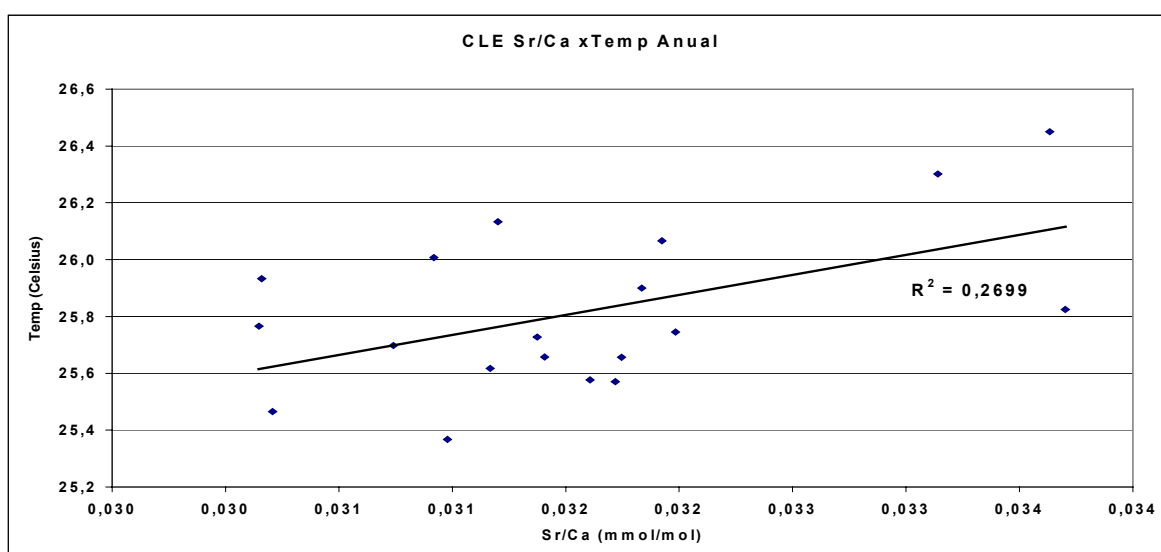


Fig 5.1.1.2.c - Dispersão de dados - Sr/Ca versus TSM em CLE

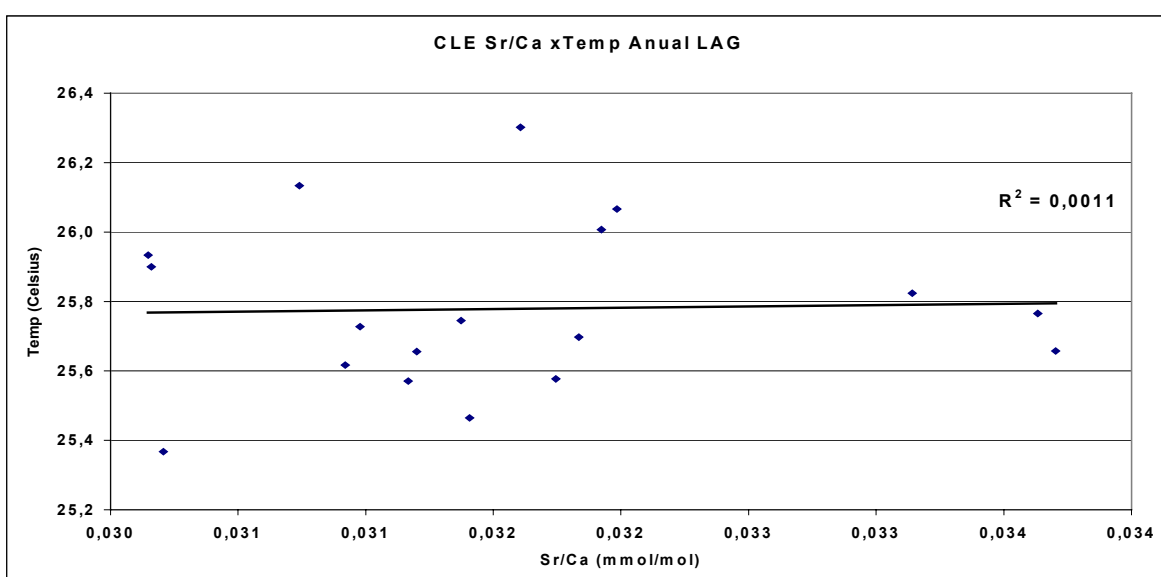


Fig 5.1.1.2.d – Dispersão de dados - Sr/Ca versus TSM (com defasagem) em CLE

As Figuras 5.1.1.e e f resumem os comportamentos encontrados entre as séries de dados da razão Sr/Ca e da TSM nos testemunhos CAB-2 e CLE no intervalo anual, respectivamente antes e após aplicação da defasagem, seguindo o método ilustrado na Figura 4.3. Nota-se que no pareamento contemporâneo dos dados, as variações dos valores da razão geoquímica e da TSM no testemunho CAB-2 apresentam um comportamento predominantemente antagônico, o qual é normalmente esperado entre Sr/Ca e TSM. Após a aplicação da defasagem de um ano, o antagonismo predomina no testemunho CLE. Esta análise é complementar à dispersão de dados e está em consonância com a mesma.

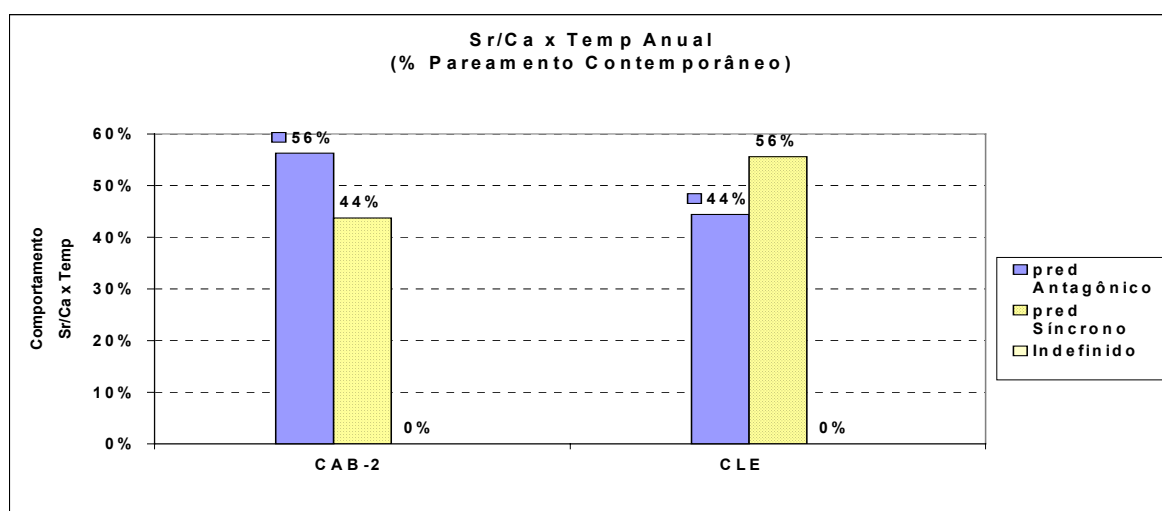


Fig 5.1.1.e – Sr/Ca x TSM Anual, Pareamento Contemporâneo, CAB2-2 e CLE

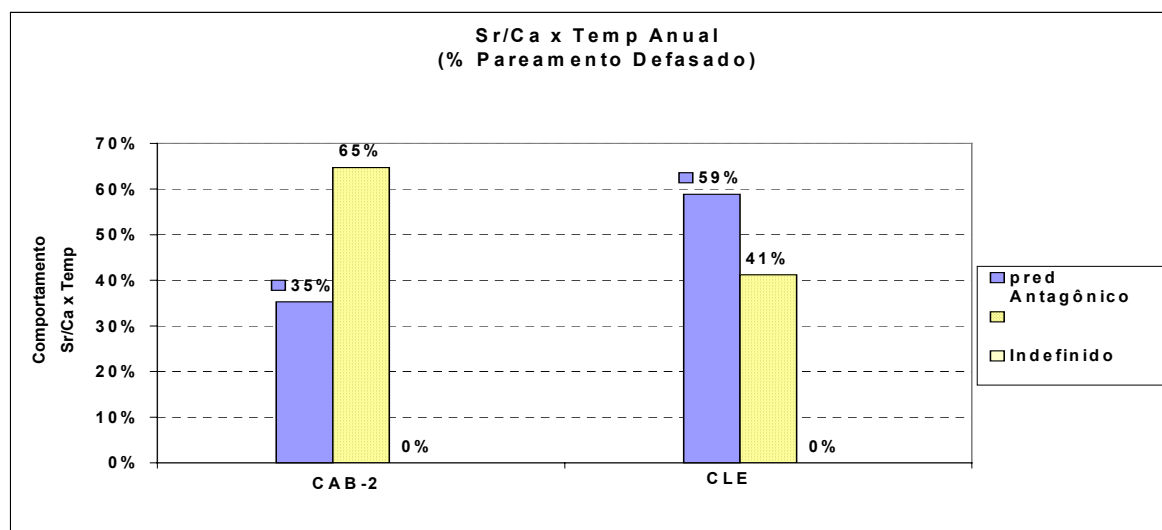


Fig 5.1.1.f - Sr/Ca x TSM Anual, Pareamento Defasado, CAB2-2 e CLE

O antagonismo normalmente esperado entre Sr/Ca somente predomina em CAB-2 no pareamento contemporâneo. A aplicação da defasagem inverte este comportamento. Ao contrário, nos dados do testemunho CLE observamos um comportamento inverso ao esperado.

5.1.2 Mg/Ca – Visão geral

A comparação das razões Mg/Ca (mmol/mol) encontradas em CAB-2 e CLE está ilustrada na Figura 5.1.2. Exceto pela ocorrência de dois picos da razão Mg/Ca no testemunho CLE, não se observa uma variação importante nas razões registradas nos dois testemunhos a partir de 1985. Além disso, não existem tendências de mais longo prazo definidas nas duas séries de dados.

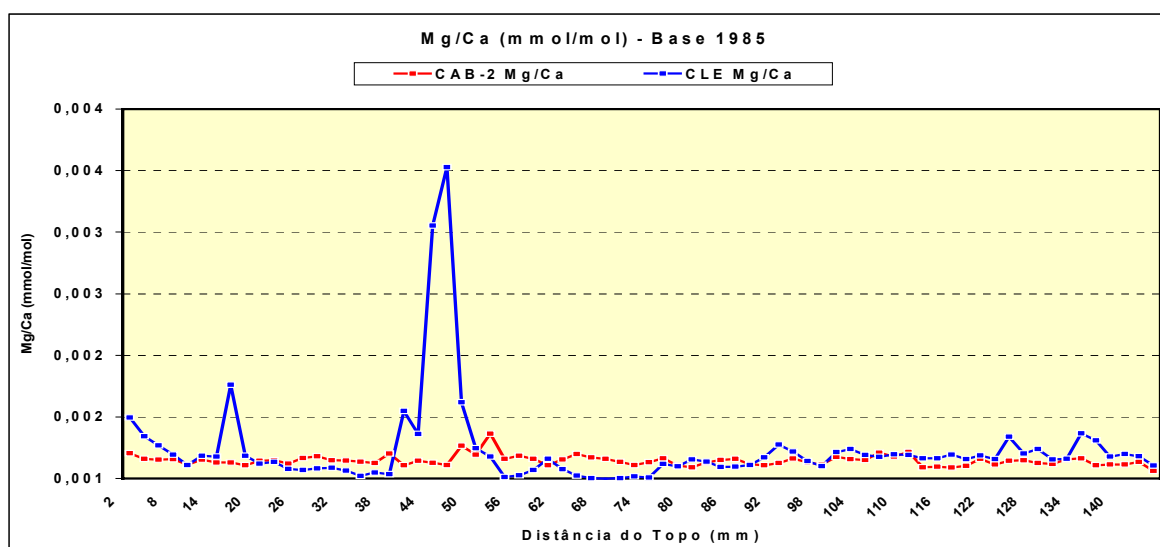


Fig. 5.1.2 – Comparação da razão Mg/Ca (mmol/mol) medida em CAB-2 e CLE (Base 1985)

A Tabela 5.1.2. apresenta um resumo dos dados referentes à razão Mg/Ca nos testemunhos CAB-2 e CLE, nos mesmos moldes citados em 5.1.1 para o Sr. Pequenas alterações são observadas na amplitude das razões máximas e mínimas encontradas nos dois grupos de dados referentes ao testemunho CAB-2.

Tabela 5.1.2 – Visão geral dos ciclos anuais da razão Mg/Ca nos testemunhos CAB-2 e CLE

	CAB-2	CLE
Grupo I - Ciclos totais (anteriores e posteriores ao registro da TSM)	66	24
Ciclo anual geoquímico mais antigo	1939	1980
No. de ciclos anuais anteriores ao registro de temperatura	48	6
Razão máxima neste período	0,0017260	0,0019386
Razão mínima neste período	0,0009612	0,0010085
Grupo II - Ciclos posteriores ao registro da TSM	18	18
Razão máxima neste período	0,0017260	0,0019386
Razão mínima neste período	0,0010922	0,0010085
Média	0,0012135	0,0012171
Desvio Padrão (DP)	0,0001771	0,0002019
Média + 2DP	0,0015676	0,0016209
Média – 2DP	0,0008594	0,0008133
Coeficiente de determinação (R^2) obtido na regressão linear, pareamento contemporâneo das séries geoquímicas e de temperatura	$y = 425,45x + 25,298$ $R^2 = 0,0759$	$y = -269,44x + 26,142$ $R^2 = 0,0396$
Covariância do pareamento contemporâneo das séries geoquímicas e de temperatura	0,2754938	-0,1989576
LAG - Coeficiente de determinação (R^2) após aplicação de defasagem (lag) no pareamento dos dados	$y = 173,27x + 25,567$ $R^2 = 0,0177$	$y = 496,23x + 25,175$ $R^2 = 0,1917$
LAG – Covariância após aplicação de defasagem (lag) no pareamento dos dados	0,1167647	0,3861107

Os valores máximos e mínimos não apresentam variação importante em cada testemunho nos Grupos I e II, à exceção de CAB-2, cujo valor mínimo após 1985 apresenta um pequeno aumento. Os valores médios da razão Mg/Ca dos dois testemunhos não apresentam variação importante.

5.1.2.1 Mg/Ca – Testemunho CAB-2

O diagrama das razões Mg/Ca encontradas no testemunho CAB-2 está ilustrada na Figura 5.1.2.1, sendo o topo correspondente a 2003 e a base a 1985. Não se observa qualquer tendência evidente nos valores da razão ao longo do tempo. Imagens ampliadas deste e dos demais diagramas ilustrando os ciclos anuais estão incluídas no Apêndice 5.

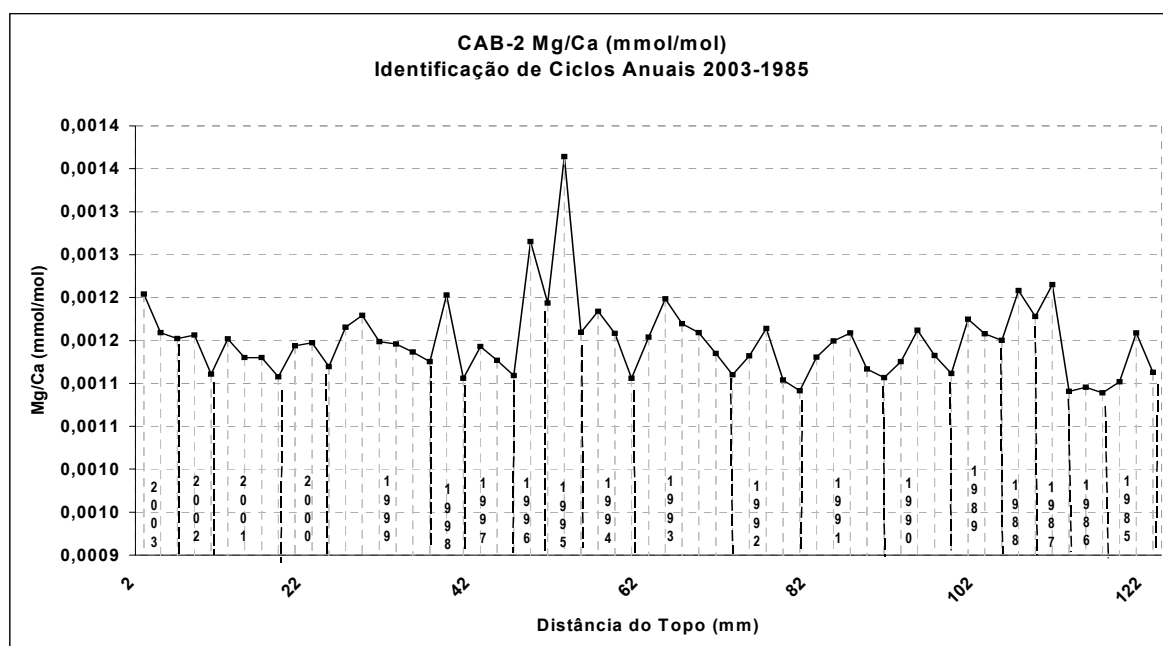


Fig 5.1.2.1 Mg/Ca medida em CAB-2 e ciclos geoquímicos

As Figuras 5.1.2.1.a e b ilustram o comportamento das séries de dados da TSM e da razão Mg/Ca encontradas no testemunho CAB-2 entre os anos 2003 e 1985, respectivamente sem e com aplicação da defasagem (*lag*) de um ano. A análise progressiva do pareamento das séries de dados contemporâneos revela um comportamento predominantemente síncrono, o qual se mantém após a aplicação da defasagem. Nestes diagramas, a ocorrência de dois picos bastante elevados da razão Mg/Ca nos anos de 1998 e 2002, confere uma tendência de incremento desta razão.

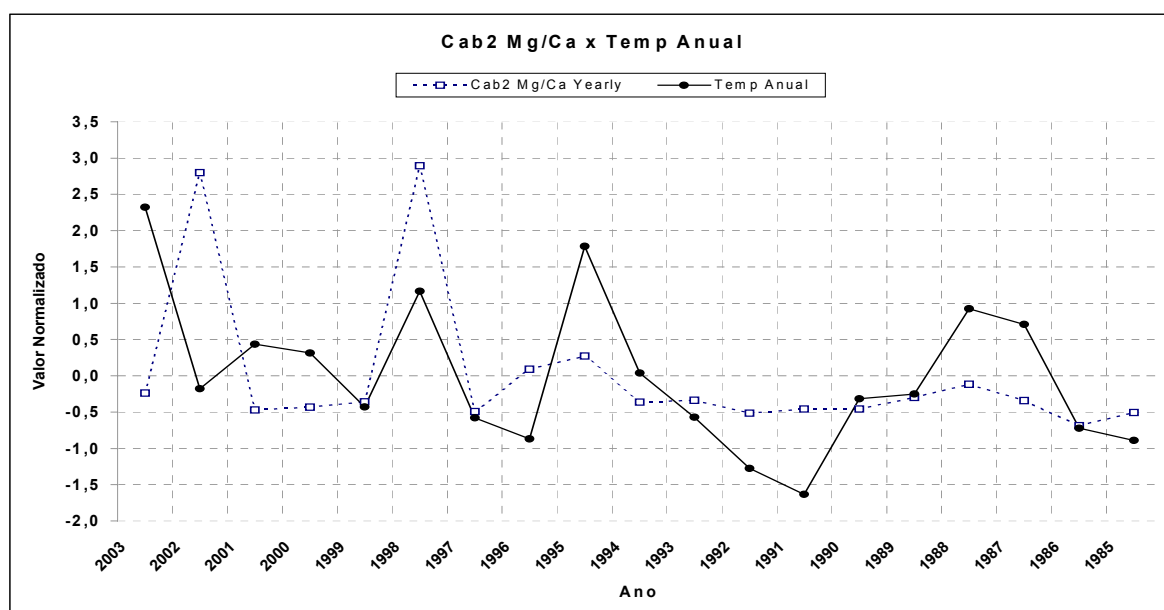


Fig 5.1.2.1.a - Mg/Ca versus TSM em CAB-2

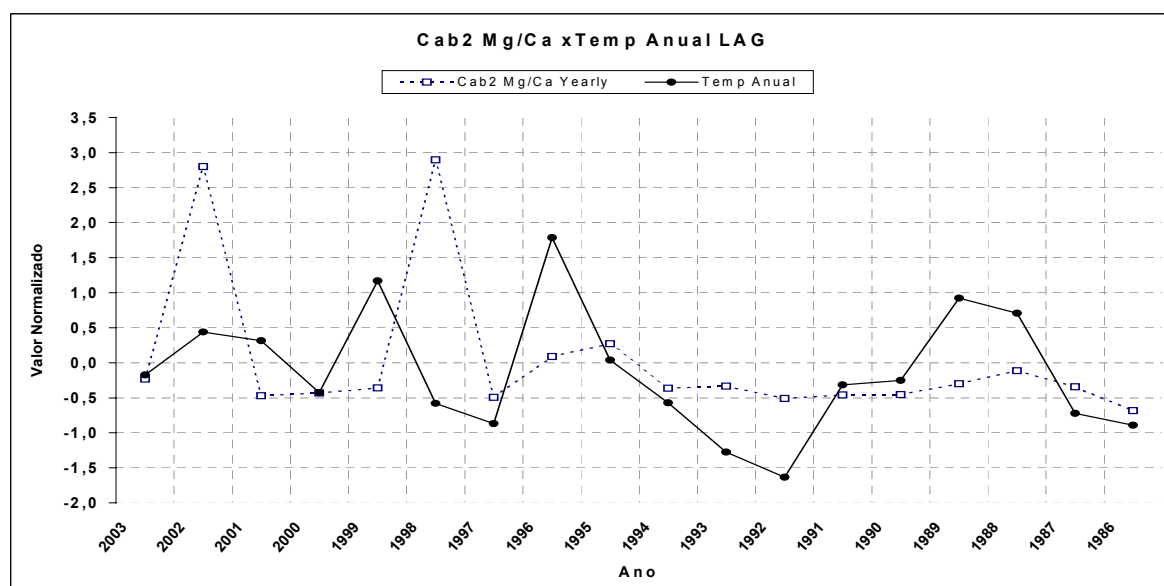


Fig 5.1.2.1.b - Mg/Ca versus TSM (com defasagem) em CAB-2

As Figuras 5.1.2.1.c e d ilustram a dispersão dos dados da razão Mg/Ca em função da TSM no testemunho CAB-2 entre os anos 2003 e 1985, respectivamente sem e com aplicação da defasagem (*lag*) de um ano no pareamento das séries de dados. Eliminando-se os valores da razão Mg/Ca correspondentes aos anos 1998 e 2002, obtém-se uma melhora considerável no coeficiente de determinação, desta feita igual a 0,263. A aplicação desta defasagem reduziu o coeficiente de determinação.

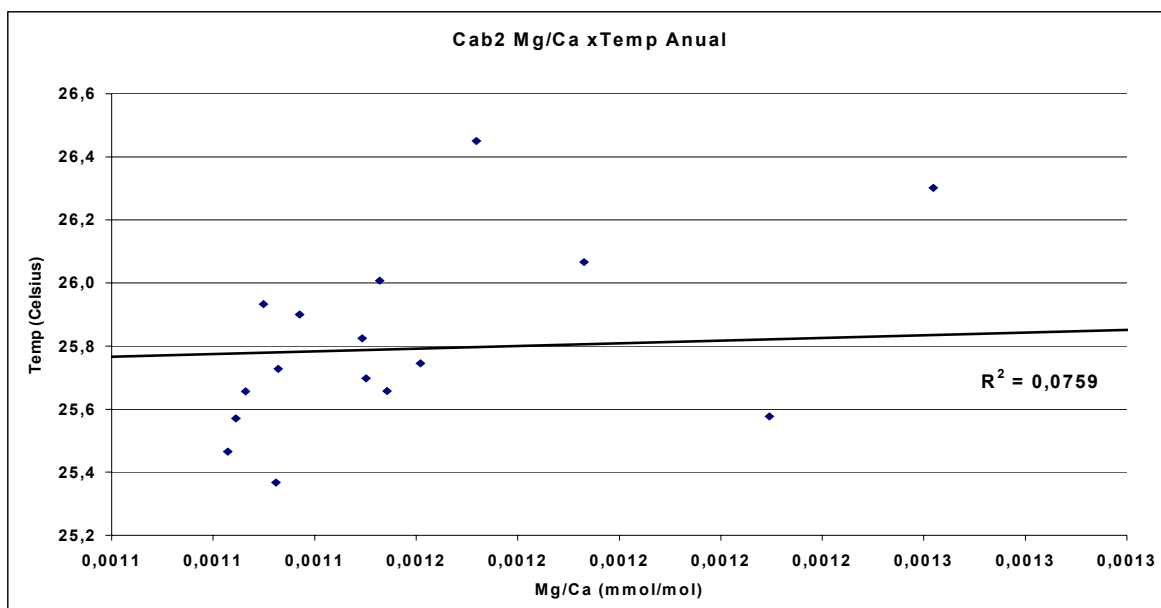


Fig 5.1.2.1.c - Dispersão de dados - Mg/Ca versus TSM em CAB-2

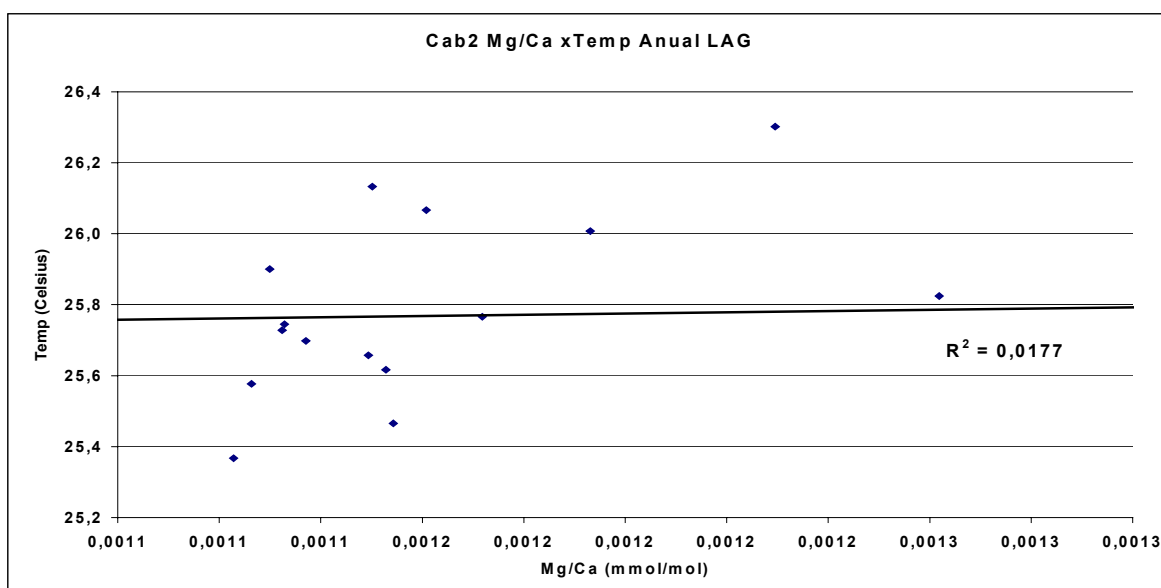


Fig 5.1.2.1.d – Dispersão de dados - Mg/Ca versus TSM (com defasagem) em CAB-2

5.1.2.2 Mg/Ca – CLE

O diagrama das razões Mg/Ca encontradas em todas as amostras do testemunho coletado nesta estação está ilustrado na Figura 5.1.2.2, sendo o topo correspondente a 2003 e a base a 1985. Nesta série ocorrem dois intervalos anômalos entre 16 e 18 mm e 38 e 54 mm de profundidade (a partir do topo). Este segundo intervalo anômalo coincide aproximadamente com a anomalia positiva vista na razão Sr/Ca. No restante do testemunho, a variabilidade é pequena, com uma tendência de aumento na razão nos 40 mm superiores do testemunho. Imagens ampliadas deste e dos demais diagramas ilustrando os ciclos anuais estão incluídas no Apêndice 5.

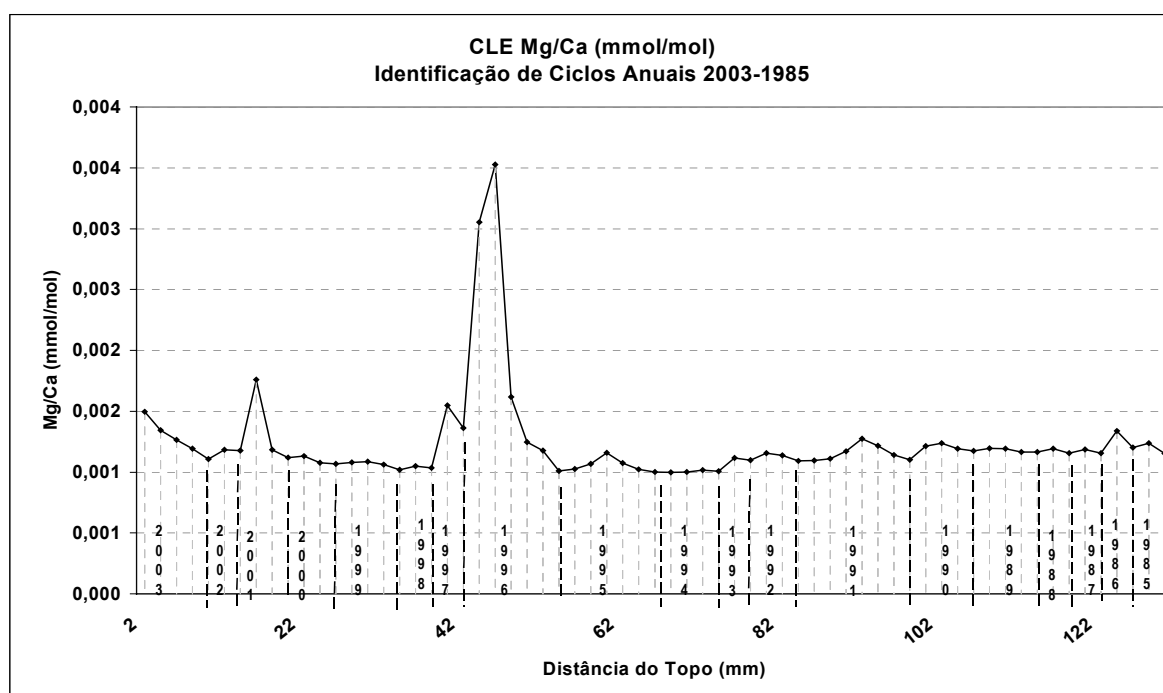


Fig 5.1.2.2. Razão Mg/Ca medida em CLE e ciclos geoquímicos

As Figuras 5.1.2.2.a e b ilustram o comportamento das séries de dados da TSM e da razão Mg/Ca encontradas no testemunho CLE entre os anos 2003 e 1985, respectivamente sem e com aplicação da defasagem (*lag*) de um ano no pareamento das séries de dados geoquímicos e da TSM. Não há qualquer semelhança no comportamento desta razão com aquele que se observa no testemunho CAB-2, pois neste caso a análise progressiva do pareamento das séries de dados contemporâneos revela um comportamento predominantemente antagônico, o qual passa a ser predominantemente síncrono após a aplicação da defasagem. O pico da razão Mg/Ca observado aproximadamente em 1996 parece estar relacionado ao aumento da TSM naquele período, embora a ocorrência de picos anômalos da razão Mg/Ca seja reportada na literatura.

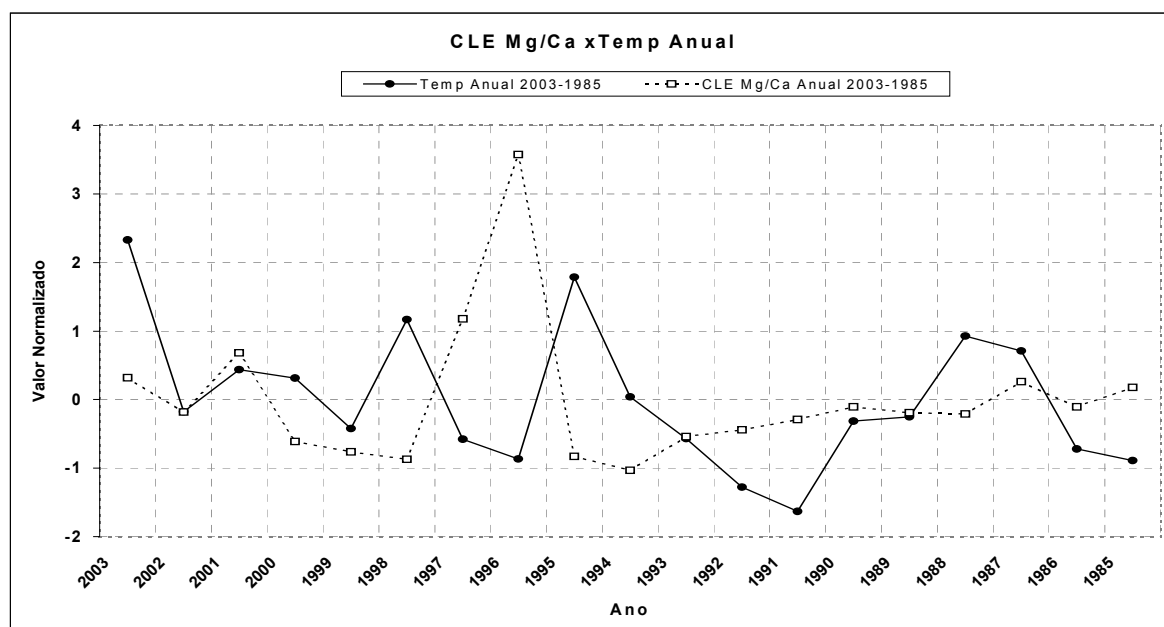


Fig 5.1.2.2.a - Mg/Ca versus TSM em CLE

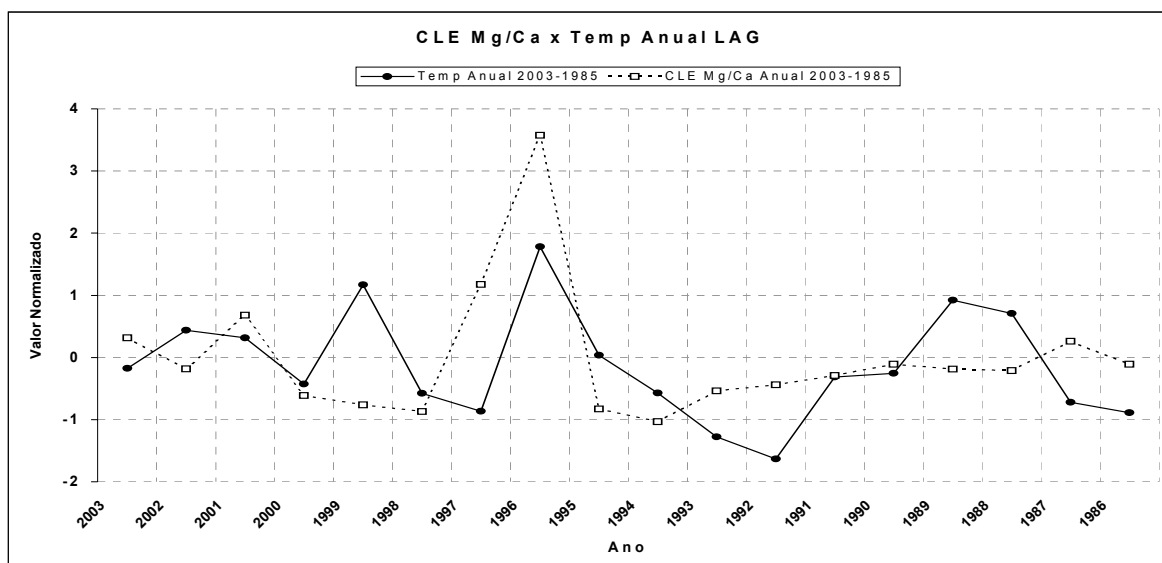


Fig 5.1.2.2.b – Mg/Ca versus TSM (com defasagem) em CLE

As Figuras 5.1.2.2.c e d ilustram a dispersão dos dados da razão Mg/Ca em função da TSM no testemunho CLE entre os anos 2003 e 1985, respectivamente sem e com aplicação de defasagem. A relação fracamente indireta observada na dispersão dos dados contemporâneos passa a indireta após a aplicação da defasagem, na qual o coeficiente de determinação mais elevado se deve provavelmente ao valor anômalo correspondente ao ano de 1996.

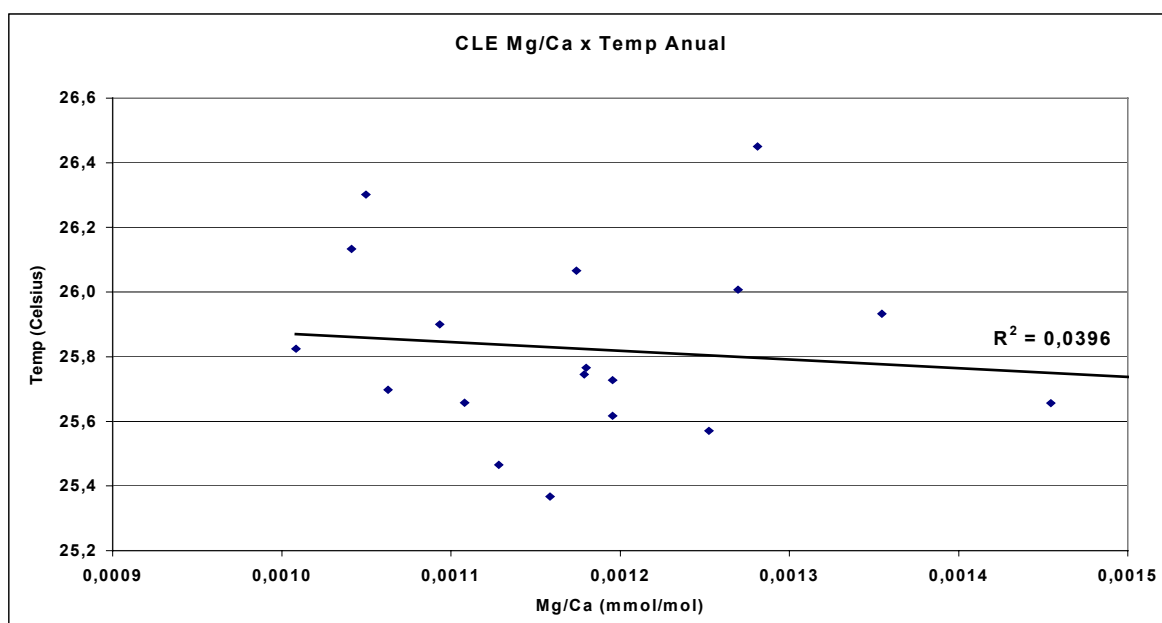


Fig 5.1.2.2.c – Dispersão de dados - Mg/Ca versus TSM em CLE

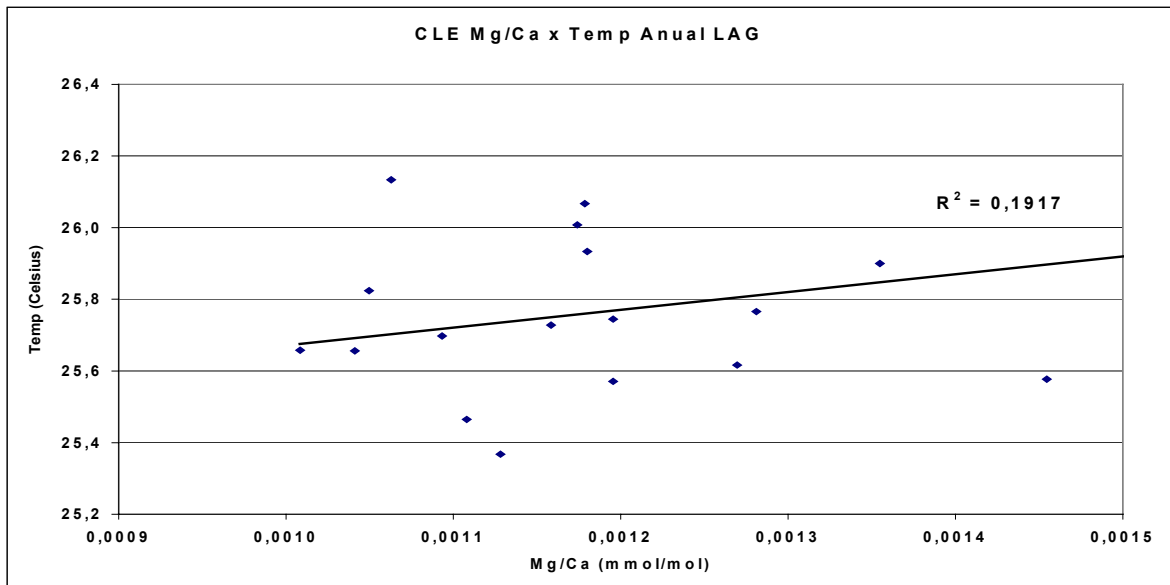


Fig 5.1.2.2.d – Dispersão de dados - Mg/Ca versus TSM (com defasagem) em CLE

As Figuras Fig 5.1.2.e e f ilustram o resumo dos comportamentos encontrados entre as séries de dados da razão Mg/Ca e da TSM nas amostras dos testemunhos CAB-2 e CLE no intervalo anual, respectivamente antes e após aplicação da defasagem. O testemunho CAB-2 mantém um comportamento predominantemente síncrono no pareamento contemporâneo, o qual fica mais evidente no pareamento defasado. O pareamento contemporâneo das séries de dados em CLE revela uma predominância de antagonismo, situação que se inverte no pareamento das séries defasadas.

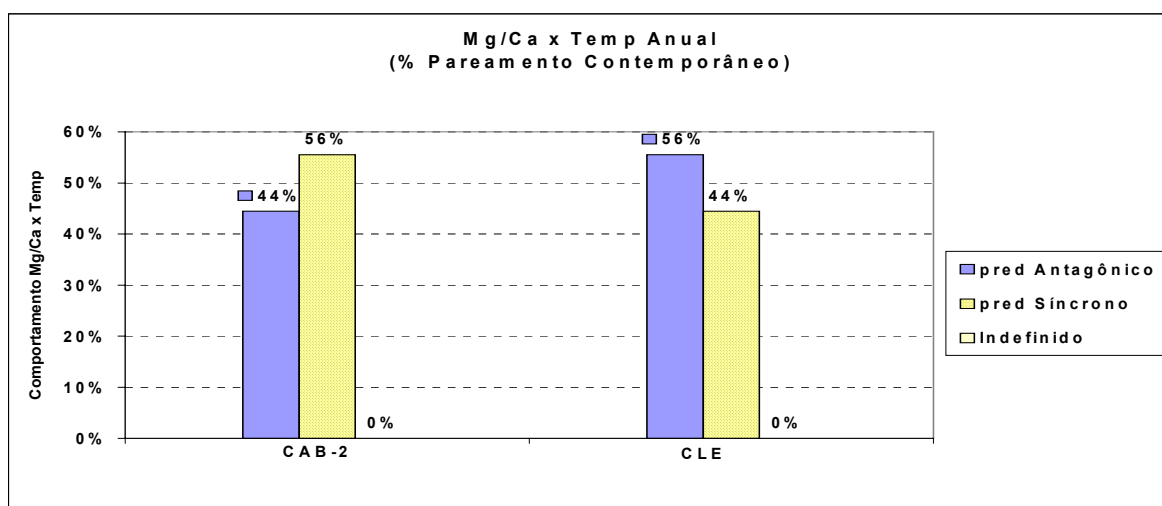


Fig 5.1.2.e – Mg/Ca x TSM Anual, Pareamento Contemporâneo, Testemunhos CAB-2 e CLE

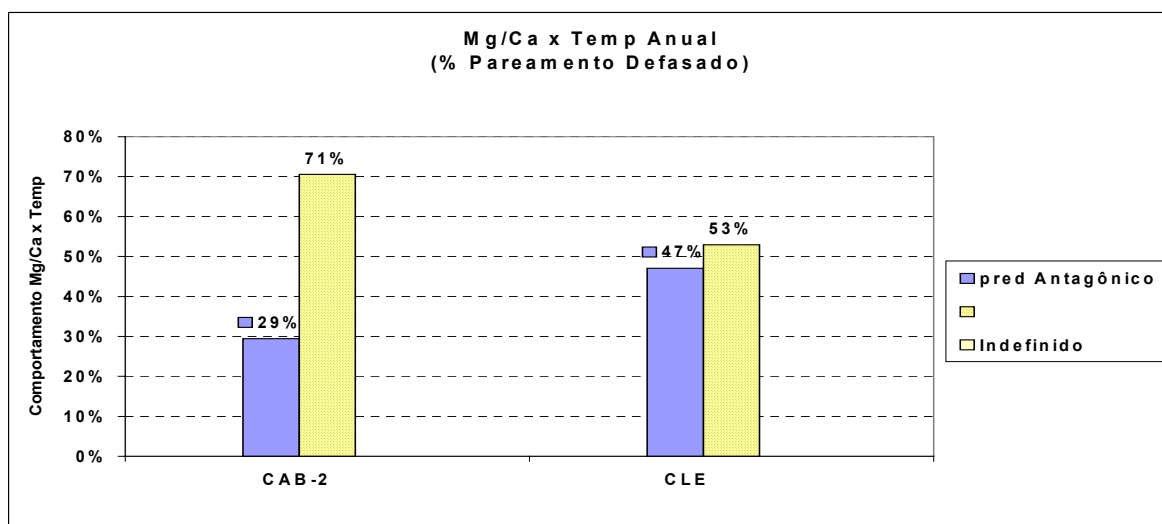


Fig 5.1.2.f - Mg/Ca x TSM Anual, Pareamento Defasado, Testemunhos CAB-2 e CLE

5.1.3 Ba/Ca – Visão geral

A diagramação dos valores médios da razão Ba/Ca na Figura 5.1.3 revela um comportamento distinto nos dois testemunhos, com alternância entre fases síncronas e antagônicas. Observa-se que as razões são mais elevadas no testemunho CLE, o qual foi coletado numa estação mais próxima da costa, onde normalmente se encontra uma maior taxa de sedimentos terrígenos suspensos na coluna d'água.

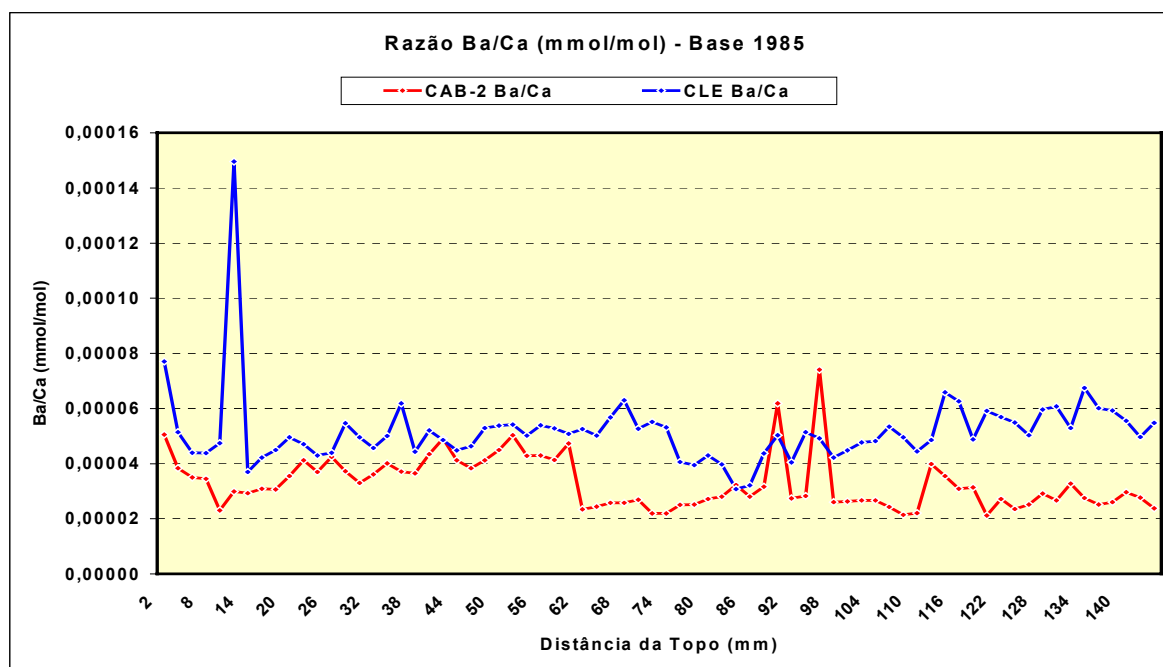


Fig. 5.1.3 – Comparação da razão Ba/Ca (mmol/mol) medida em CAB-2 e CLE (Base 1985)

A Tabela 5.1.3. apresenta um resumo dos dados referentes à razão Ba/Ca encontrada nos dois testemunhos. Não há alteração nas razões máximas e mínimas encontradas nos dois grupos de dados relativos ao testemunho CLE.

Tabela 5.1.3 – Visão geral dos ciclos anuais da razão Ba/Ca nos testemunhos CAB-2 e CLE

	CAB-2	CLE
Grupo I - Ciclos totais (anteriores e posteriores ao registro da TSM)	45	22
Ciclo anual geoquímico mais antigo (aprox)	1941	1982
No. de ciclos anuais anteriores ao registro de temperatura	27	4
Razão máxima neste período	0,0000761	0,0000780
Razão mínima neste período	0,0000223	0,0000378
Grupo II - Ciclos posteriores ao registro da TSM	18	18
Razão máxima neste período	0,0000439	0,0000780
Razão mínima neste período	0,0000235	0,0000378
Média	0,0000330	0,0000520
Desvio Padrão (DP)	0,0000067	0,0000081
Média + 2DP	0,0000463	0,0000683
Média – 2DP	0,0000196	0,0000358
Coeficiente de determinação (R^2) obtido na regressão linear, pareamento contemporâneo das séries geoquímicas e de temperatura	$y = 1742x + 25,756$ $R^2 = 0,0018$	$y = 6060,1x + 25,498$ $R^2 = 0,0324$
Covariância do pareamento contemporâneo das séries geoquímicas e de temperatura	0,0425464	0,1799218
LAG - Coeficiente de determinação (R^2) após aplicação de defasagem (lag) de uma unidade de temperatura no pareamento dos dados	$y = 11409x + 25,398$ $R^2 = 0,1060$	$y = 8083,5x + 25,361$ $R^2 = 0,0796$
LAG – Covariância após aplicação de defasagem (lag) de uma unidade de temperatura no pareamento dos dados	0,2808644	0,2447769

Os valores máximos e mínimos da razão Ba/Ca encontrada variam em CAB-2 nos dois grupos de dados. No Grupo II o testemunho CLE apresenta concentrações máximas, concentrações mínimas e média superiores a CAB-2 e de modo geral isto ocorre, também, antes de 1985.

5.1.3.1 Ba/Ca – CAB-2

A diagramação das razões Ba/Ca encontradas em todas amostras do testemunho coletado nesta estação está ilustrada na Figura 5.1.3.1, sendo o topo correspondente a 2003 e a base a 1985. Imagens ampliadas deste e dos demais diagramas ilustrando os ciclos anuais estão incluídas no Apêndice 5.

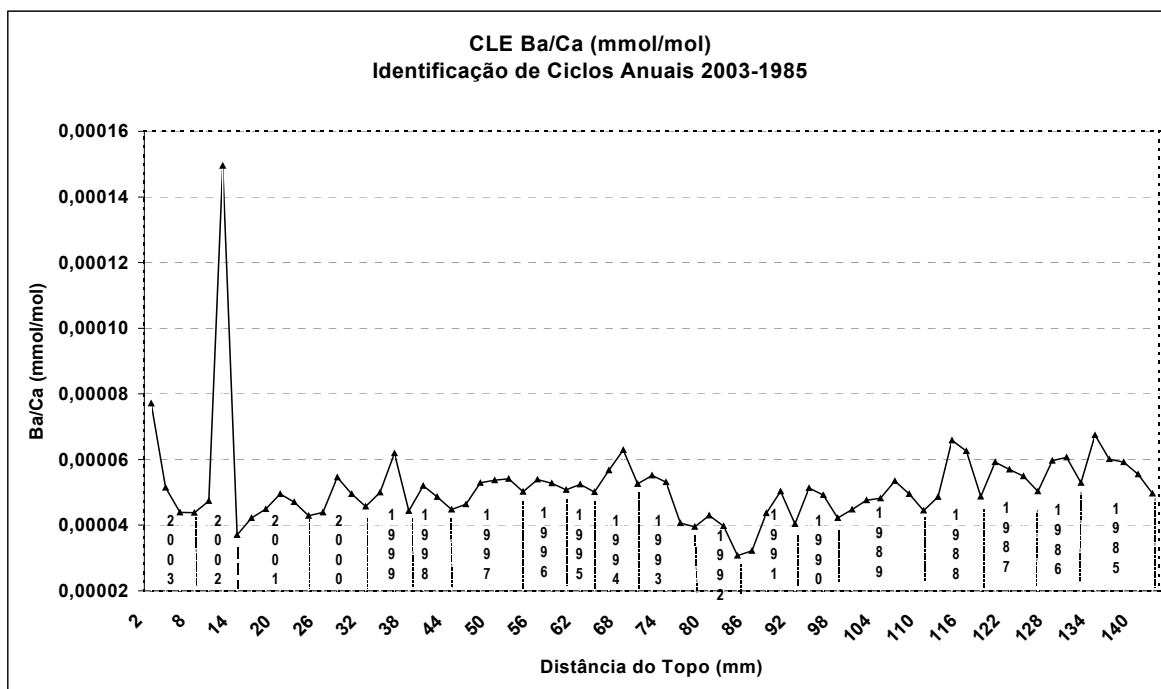


Fig 5.1.3.1. Ba/Ca medida em CAB-2 e ciclos geoquímicos

Picos da razão Ba/Ca são comumente encontrados em estudos similares, incluindo Mitsuguchi (2000), e geralmente ocorrem na primavera e outono no hemisfério norte.

As Figuras 5.1.3.1.a e b ilustram o comportamento dos dados da TSM e da razão Ba/Ca no testemunho CAB-2 entre os anos 2003 e 1985, respectivamente sem e com aplicação da defasagem (*lag*) de um ano. A análise progressiva do pareamento das séries de dados contemporâneos revela um comportamento predominantemente síncrono, o qual se mantém após a aplicação da defasagem. A flutuação anual nos valores da razão Ba/Ca é bastante grande e nesse período de cerca de 20 anos observa-se uma tendência de elevação na concentração de Ba no esqueleto do coral.

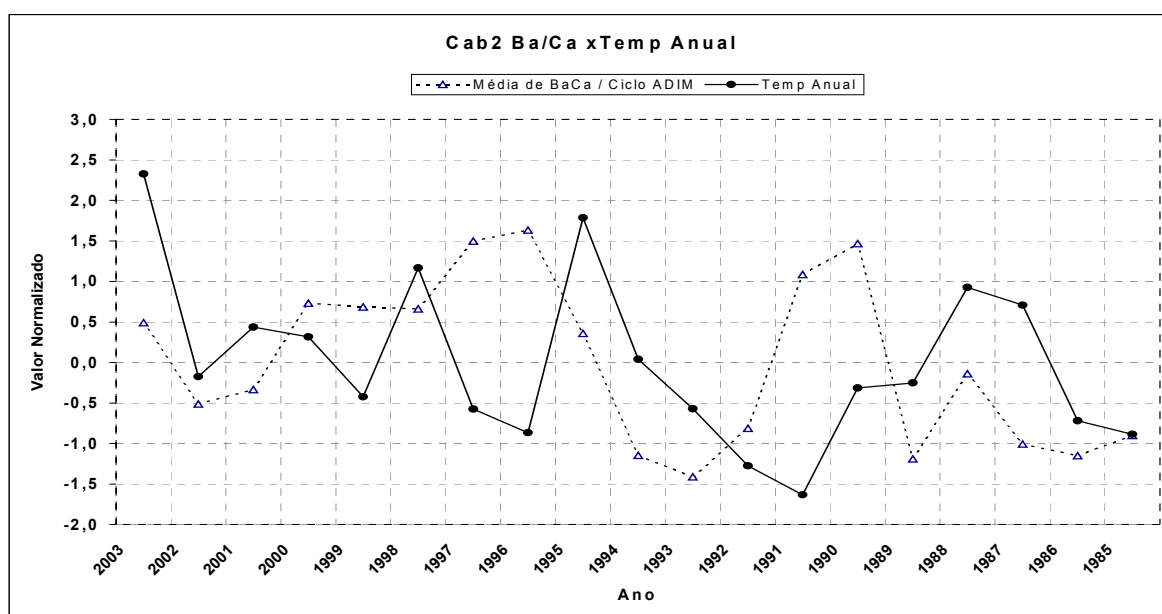


Fig 5.1.3.1.a - Ba/Ca versus TSM em CAB-2

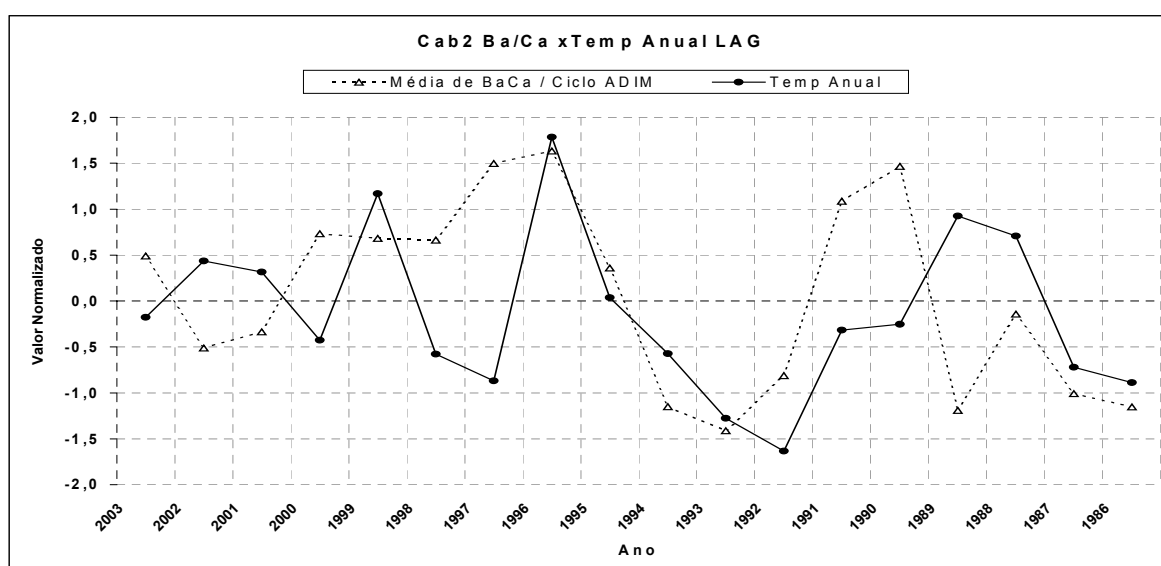


Fig 5.1.3.1.b – Ba/Ca versus TSM (com defasagem) em CAB-2

As Figuras 5.1.3.1c e d ilustram a dispersão dos dados da razão Ba/Ca em função da TSM no testemunho CAB-2 entre os anos 2003 e 1985, respectivamente sem e com aplicação da defasagem (lag) no pareamento das séries de dados. Embora o coeficiente de determinação nestas duas regressões seja bastante baixo, nota-se uma relação direta.

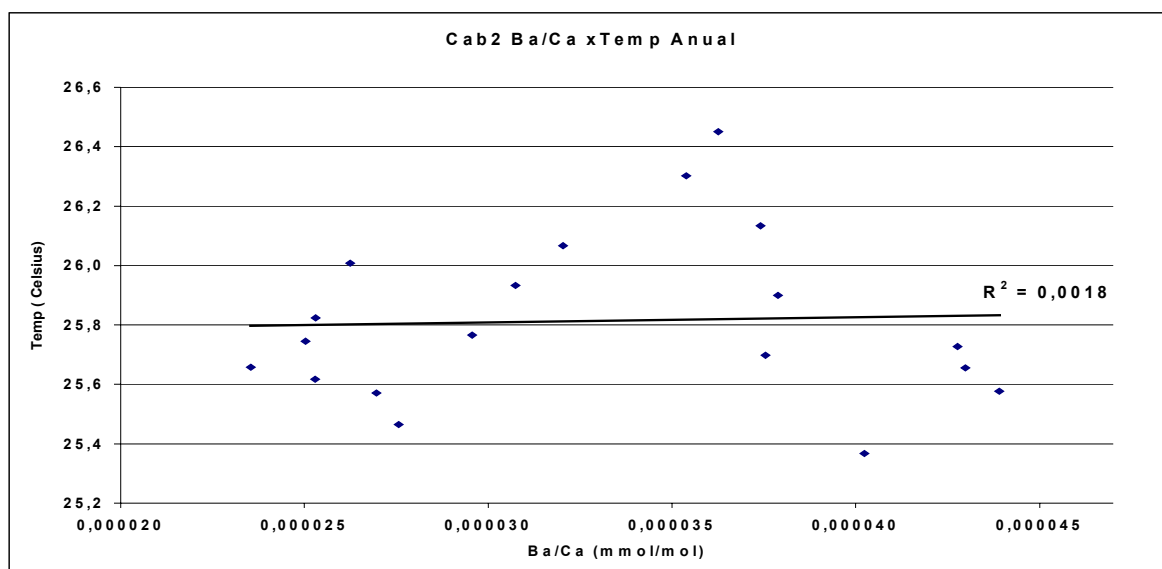


Fig 5.1.3.2.c - Dispersão de dados - Ba/Ca versus TSM em CAB-2

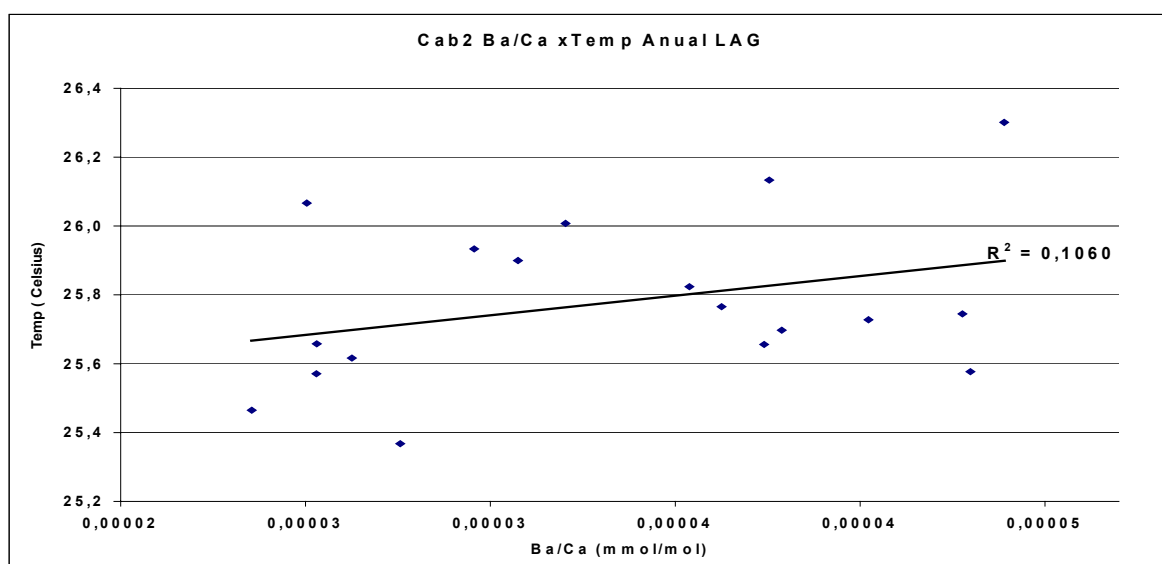


Fig 5.1.3.2.d – Dispersão de dados - Ba/Ca versus TSM (com defasagem) em CAB-2

5.1.3.2 Ba/Ca – CLE

A diagramação das razões Ba/Ca encontradas no testemunho CLE está ilustrada na Figura 5.1.3.2. O topo corresponde ao ano 2003 e a base ao ano 1985. Não se percebe tendência de elevação ou redução na razão geoquímica, exceto uma anomalia na amostra de 12 mm e um intervalo com concentrações de Ba mais baixas entre 74 e 114 mm. Imagens ampliadas deste e dos demais diagramas ilustrando os ciclos anuais estão incluídas no Apêndice 5.

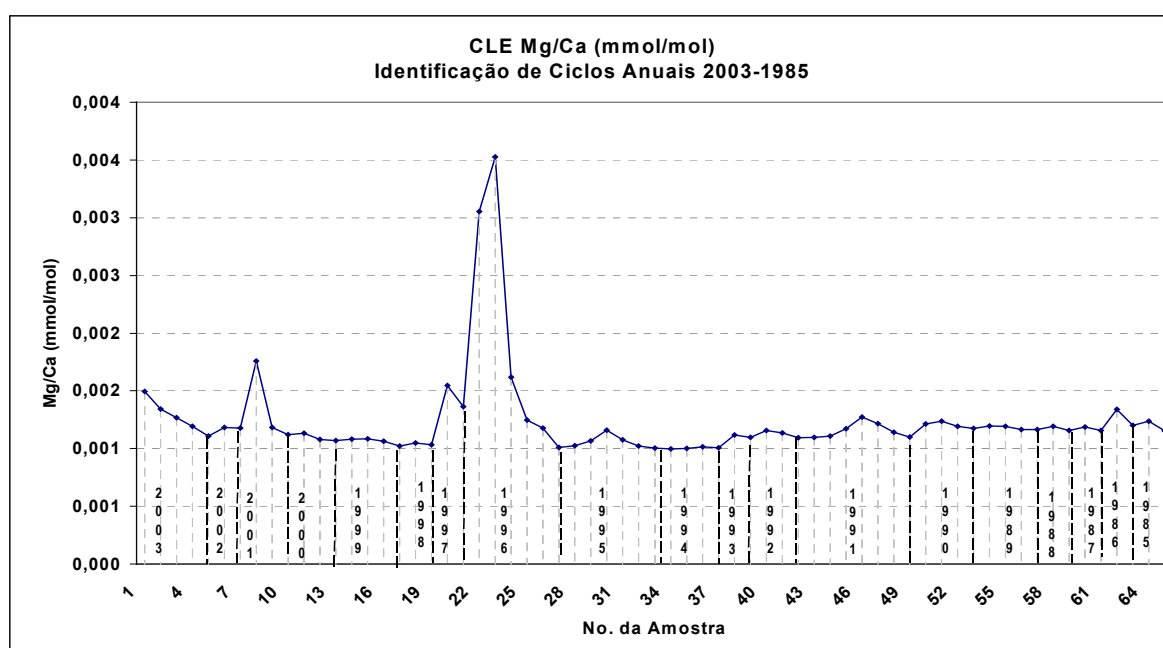


Fig 5.1.3.2. Ba/Ca medida em CLE e ciclos geoquímicos

As Figuras 5.1.3.2.a e b ilustram o comportamento dos dados da TSM e da razão Ba/Ca encontradas no testemunho CLE entre os anos 2003 e 1985, respectivamente sem e com aplicação da defasagem (lag) no pareamento das séries de dados. Há uma tendência de elevação resultante da existência de uma anomalia fortemente positiva próximo ao topo do testemunho, que corresponde aos valores incorporados no ano de 2002. O intervalo com baixas concentrações de Ba está situado nas bandas do final da década de 80 e início da década de 90 do século passado. A análise progressiva dos dados contemporâneos revela um comportamento predominantemente síncrono, o qual se mantém inalterado após a aplicação da defasagem.

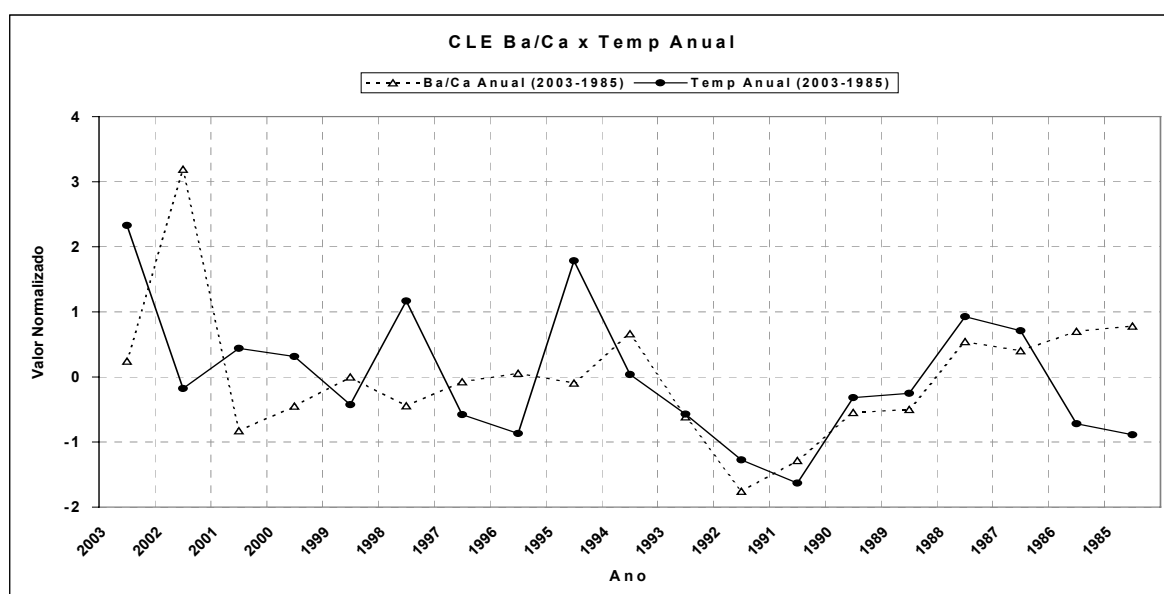


Fig 5.1.3.2.a - Ba/Ca versus TSM em CLE

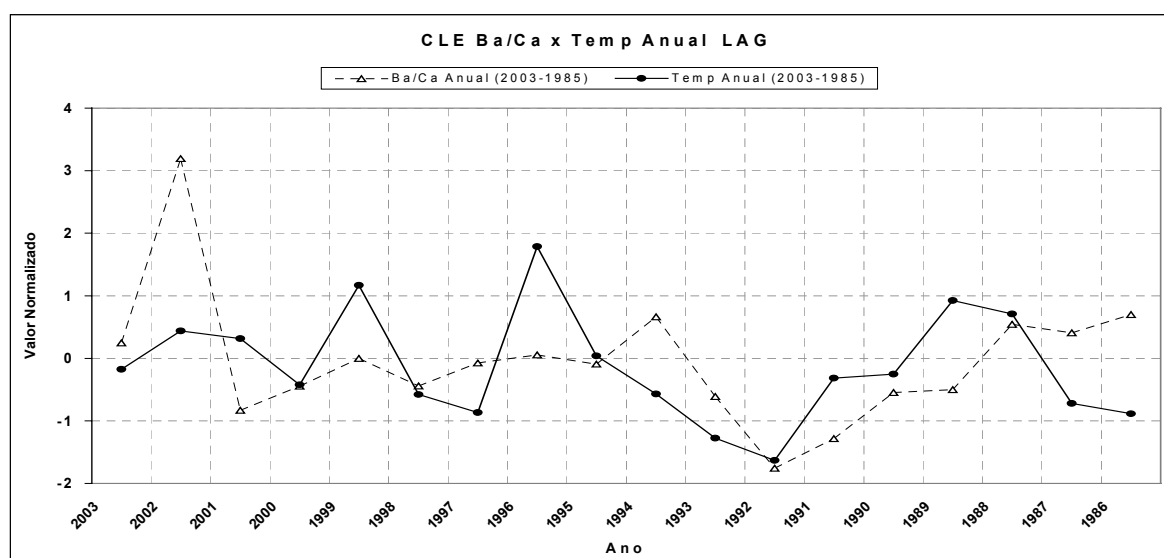


Fig 5.1.3.2.b – Ba/Ca versus TSM (com defasagem) em CLE

As Figuras 5.1.3.2.c e d ilustram a dispersão dos dados da razão Ba/Ca em função da TSM no testemunho CLE entre os anos de 2003 e 1985, respectivamente sem e com aplicação da defasagem de um ano. A exemplo do que se verificou no testemunho de CAB-2, existe uma relação fracamente direta entre as séries de dados contemporâneos e defasados.

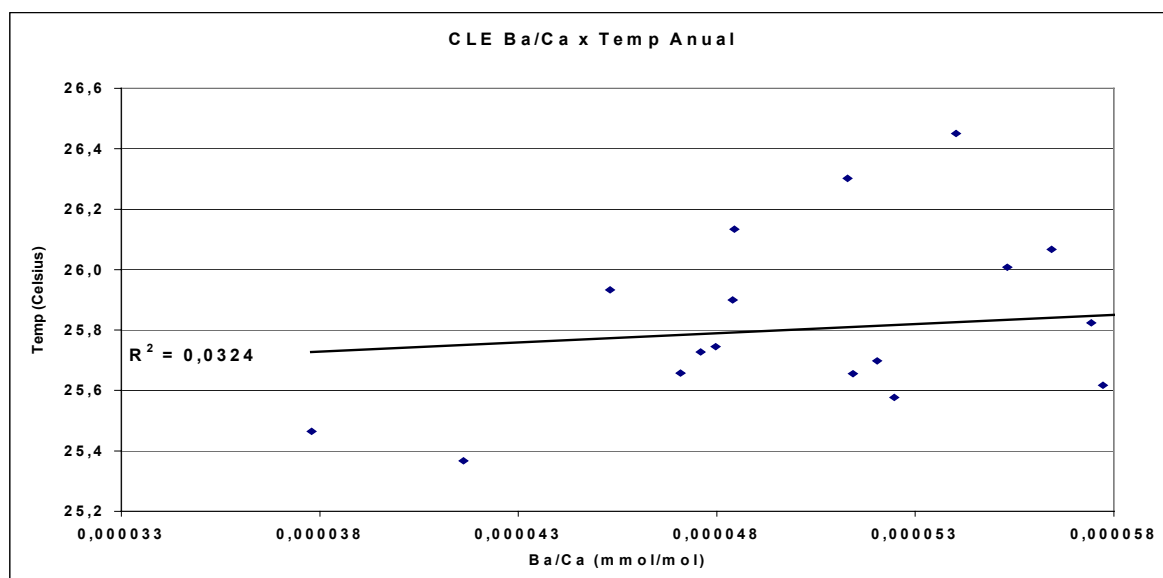


Fig 5.1.3.2.c – Dispersão de dados - Ba/Ca versus TSM em CLE

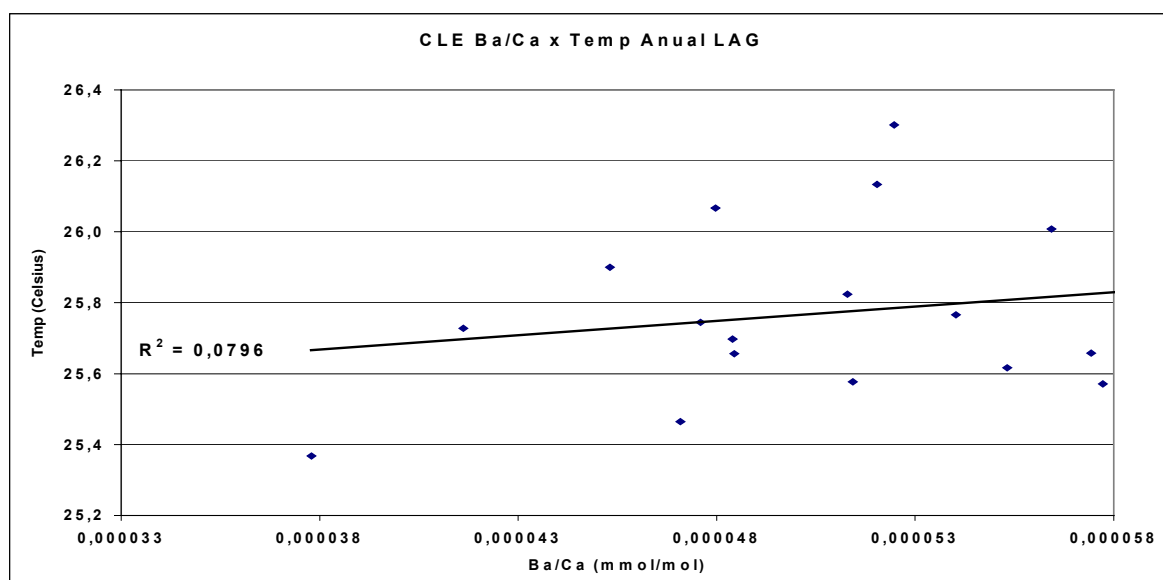


Fig 5.1.3.2.d – Dispersão de dados - Ba/Ca versus TSM (com defasagem) em CLE

As Figuras 5.1.3.e e f ilustram o resumo dos comportamentos encontrados entre as séries de dados anuais da razão Ba/Ca e da TSM nos testemunhos CAB-2 e CLE, respectivamente antes e após aplicação da defasagem. O pareamento contemporâneo no testemunho CAB-2 revela uma predominância de sincronismo, a qual é mantida no pareamento defasado. No testemunho CLE ocorre predominância de comportamento antagônico no pareamento de dados contemporâneos, ao passo que no pareamento defasado ocorre predominância de comportamento síncrono.

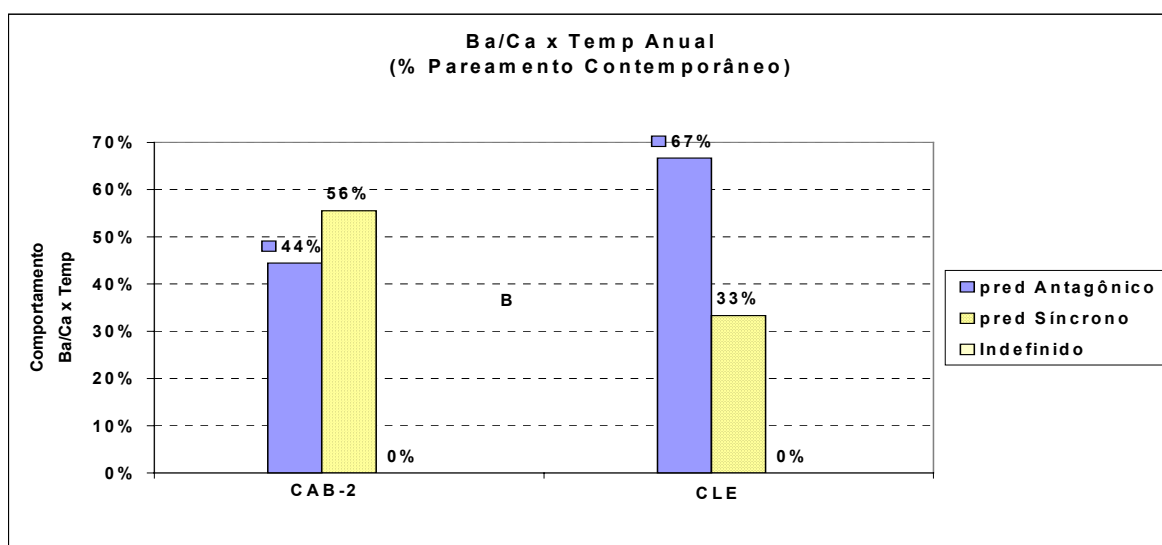


Fig 5.1.3.e – Ba/Ca x TSM Anual, Pareamento Contemporâneo, CAB-2 e CLE

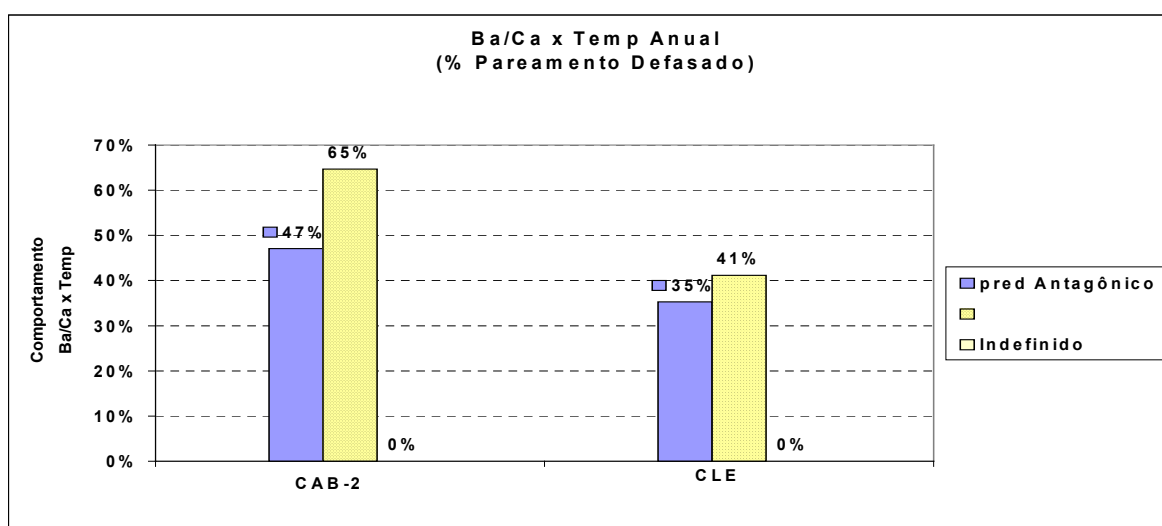


Fig 5.1.3.f - Ba/Ca x TSM Anual, Pareamento Defasado, CAB-2 e CLE

5.2 Intervalo Semestral

As médias semestrais correspondem às razões máximas (picos) e mínimas (vales) encontradas em cada ciclo geoquímico, neste caso dois picos e um vale. O registro dos dados da TSM utilizados neste estudo teve início a partir de 1985. As médias semestrais encontradas para estes período estão ilustradas no Quadro 5.2, sendo a média 25,8 °C, valor máximo 27,3°C e valor mínimo 24,3°C.

Quadro 5.2 – Médias Semestrais da TSM

Ano-Semestre	Temp Celsius	Valor Normalizado	Ano-Semestre	Temp Celsius	Valor Normalizado
2003_2	25,43	-0,44	1994_2	24,93	-1,01
2003_1	27,30	1,70	1994_1	26,72	1,04
2002_2	25,09	-0,84	1993_2	25,03	-0,90
2002_1	26,45	0,73	1993_1	26,28	0,54
2001_2	25,16	-0,75	1992_2	24,82	-1,15
2001_1	26,71	1,03	1992_1	26,12	0,35
2000_2	25,22	-0,69	1991_2	24,32	-1,72
2000_1	26,59	0,89	1991_1	26,42	0,69
1999_2	24,82	-1,14	1990_2	25,12	-0,79
1999_1	26,57	0,87	1990_1	26,33	0,60
1998_2	25,32	-0,57	1989_2	24,82	-1,14
1998_1	26,95	1,30	1989_1	26,67	0,98
1997_2	25,36	-0,52	1988_2	25,13	-0,79
1997_1	25,96	0,16	1988_1	27,01	1,37
1996_2	24,39	-1,64	1987_2	25,26	-0,64
1996_1	26,77	1,09	1987_1	26,76	1,09
1995_2	25,53	-0,33	1986_2	24,54	-1,46
1995_1	27,08	1,45	1986_1	26,69	1,01
			1985_2	24,84	-1,12
			1985_1	26,45	0,74
			Média	25,81	
			DesvPad	0,87	
			Max	27,30	
			Min	24,32	

5.2.1 Sr/Ca - Visão geral

A Tabela 5.2.1. apresenta um resumo dos dados semestrais da razão Sr/Ca nos testemunhos CAB-2 e CLE, nos mesmos moldes citados em 5.1.1. A maior amplitude de ciclos semestrais definidos geoquimicamente encontra-se em CAB-2, pois sua extensão amostrada (44,4 cm) foi maior do que a extensão do testemunho CLE (17,2 cm).

Tabela 5.2.1 – Visão geral dos ciclos semestrais da razão Sr/Ca em CAB-2 e CLE

	CAB-2	CLE
Grupo I - Ciclos totais (anteriores e posteriores ao registro da TSM)	110	50
Ciclo semestral geoquímico mais antigo	1948-2	1979-4
No. de ciclos semestrais anteriores ao registro de temperatura	73	12
Razão máxima neste período	0,0457651	0,0407522
Razão mínima neste período	0,0254282	0,0278869
Grupo II - Ciclos posteriores ao registro da TSM	37	38
Razão máxima	0,0432798	0,0407522
Razão mínima	0,0254282	0,0278869
Média	0,0311637	0,0316341
Desvio Padrão (DP)	0,0050969	0,0021637
Média + 2DP	0,0413574	0,0359614
Média – 2DP	0,0209699	0,0273068
Coefficiente de determinação (R^2) obtido na regressão linear, pareamento contemporâneo das séries geoquímicas e de temperatura	$y = 38,508x + 24,613$ $R^2 = 0,0508$	$y = -192,37x + 31,899$ $R^2 = 0,2285$
Covariância do pareamento contemporâneo das séries geoquímicas e de temperatura	0,2254182	-0,4780260
LAG - Coeficiente de determinação (R^2) após aplicação de defasagem (<i>lag</i>) no pareamento dos dados	$y = -47,142x + 27,278$ $R^2 = 0,0663$	$y = 255,18x + 17,741$ $R^2 = 0,3991$
LAG – Covariância após aplicação de defasagem (<i>lag</i>) no pareamento dos dados	-0,2454972	0,6431138

As razões semestrais máximas e mínimas da razão Sr/Ca se mantiveram iguais nos Grupos I e II, à exceção de CAB-2 no Grupo I.

5.2.1.1 Sr/Ca – CAB-2

As Figuras 5.2.1.1.a e b ilustram o comportamento dos dados da TSM e razões Sr/Ca encontradas no testemunho CAB-2 entre os semestres 2003-4 e 1985-1, respectivamente sem e com aplicação da defasagem (*lag*) de um semestre no pareamento das séries de dados. A análise progressiva do pareamento dos dados contemporâneos revela um comportamento predominantemente síncrono, o qual passa a predominantemente antagônico após a aplicação da defasagem.

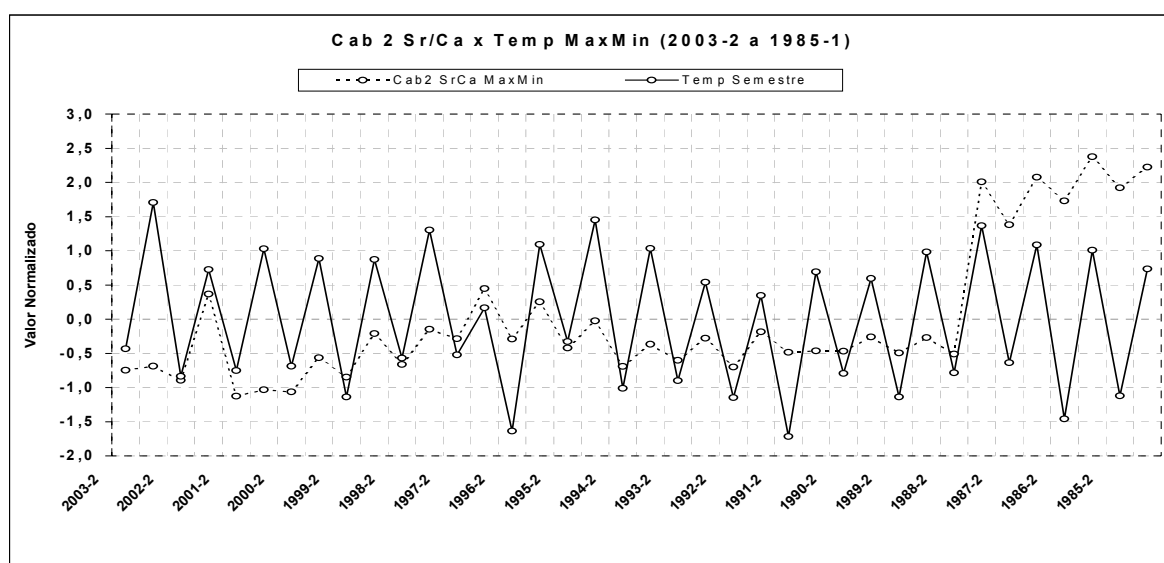


Fig 5.2.1.1.a – Sr/Ca versus TSM em CAB-2

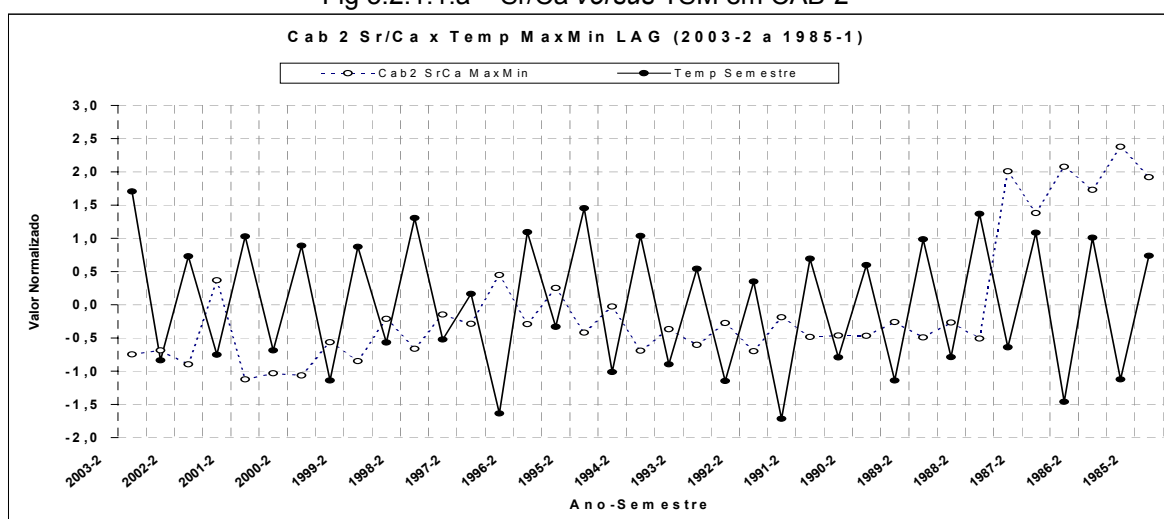


Fig 5.2.1.1.b – Sr/Ca versus TSM (com defasagem) em CAB-2

As Figuras 5.2.1.1.c e d ilustram a dispersão dos dados semestrais da razão Sr/Ca em função da TSM no testemunho CAB-2, respectivamente sem e com aplicação da defasagem (*lag*) de um semestre. A relação direta encontrada no pareamento dos dados contemporâneos passa a ser inversa após a aplicação da defasagem.

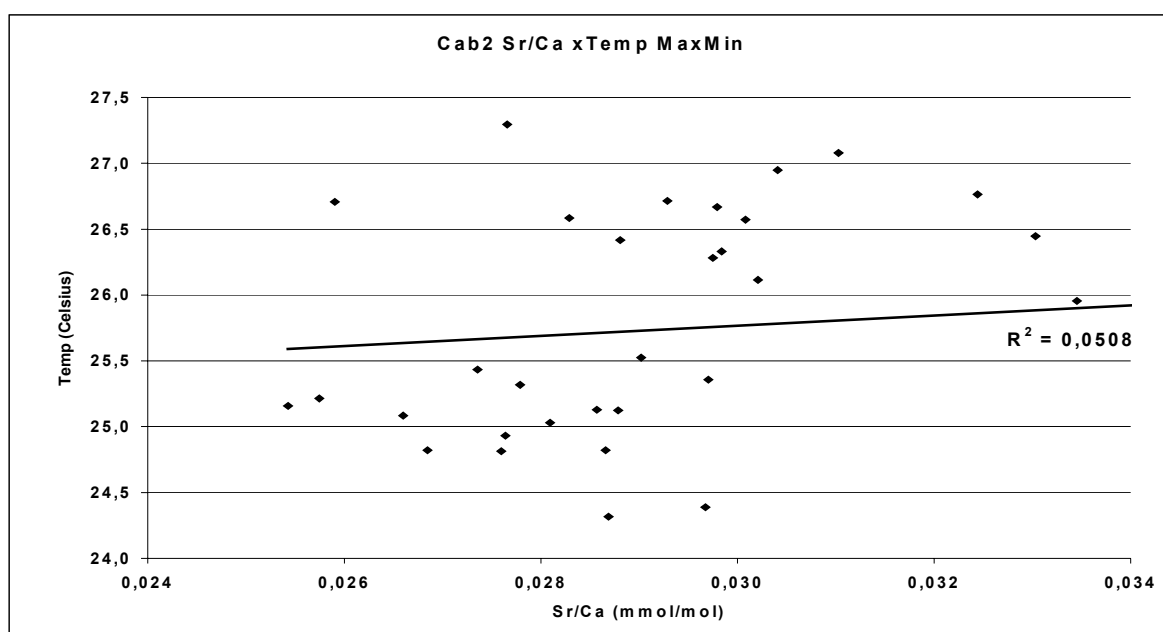


Fig 5.2.1.1.c - Dispersão de dados - Sr/Ca versus TSM em CAB-2

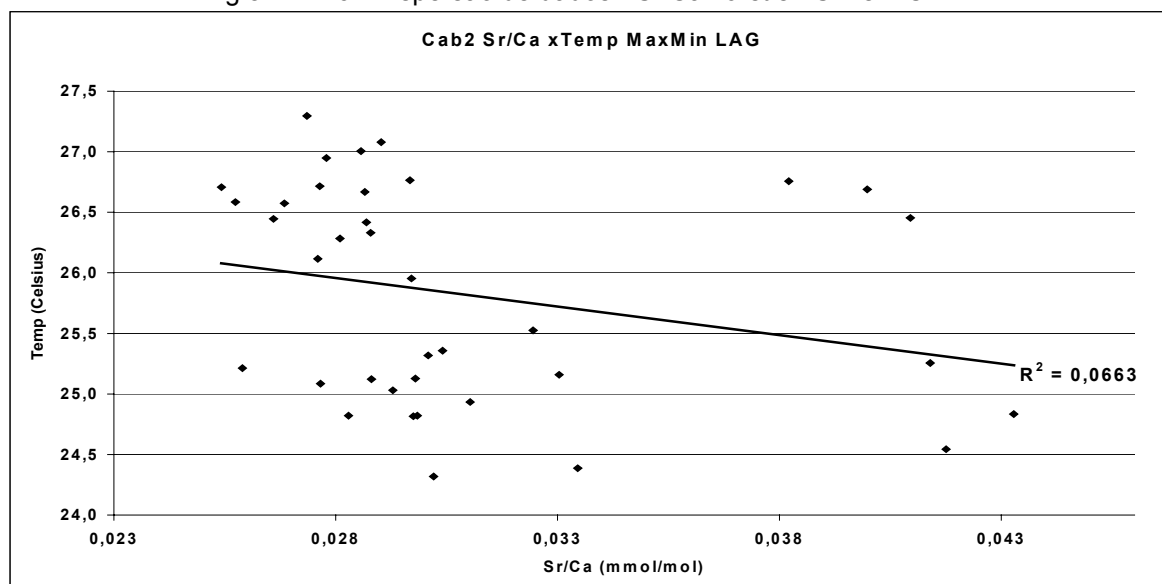


Fig 5.2.1.1.d – Dispersão de dados - Sr/Ca versus TSM (com defasagem) em CAB-2

5.2.1.2 Sr/Ca – CLE

As Figuras 5.2.1.2.a e b ilustram o comportamento dos dados semestrais da TSM e razões Sr/Ca encontradas no testemunho CLE entre os semestres 2003-4 e 1985-2, respectivamente sem e com aplicação da defasagem (lag) de um semestre no pareamento das séries de dados. Ao contrário do testemunho CAB-2, a análise progressiva do pareamento dos dados contemporâneos do testemunho CLE revela um comportamento predominantemente antagônico, o qual passa a ser predominantemente síncrono após a aplicação da defasagem.

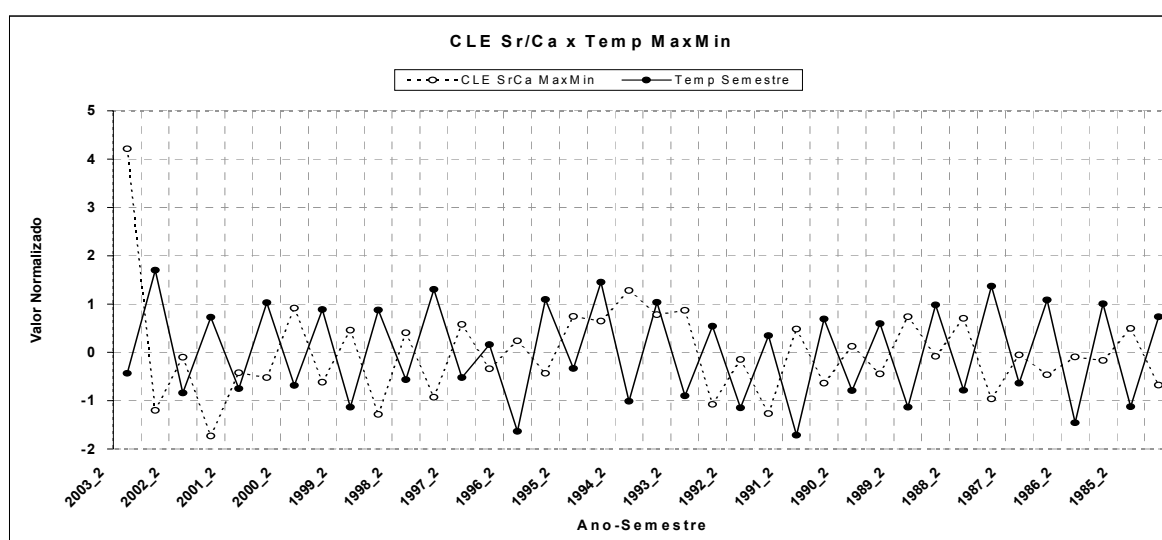


Fig 5.2.1.2.a – Razão Sr/Ca versus TSM em CLE

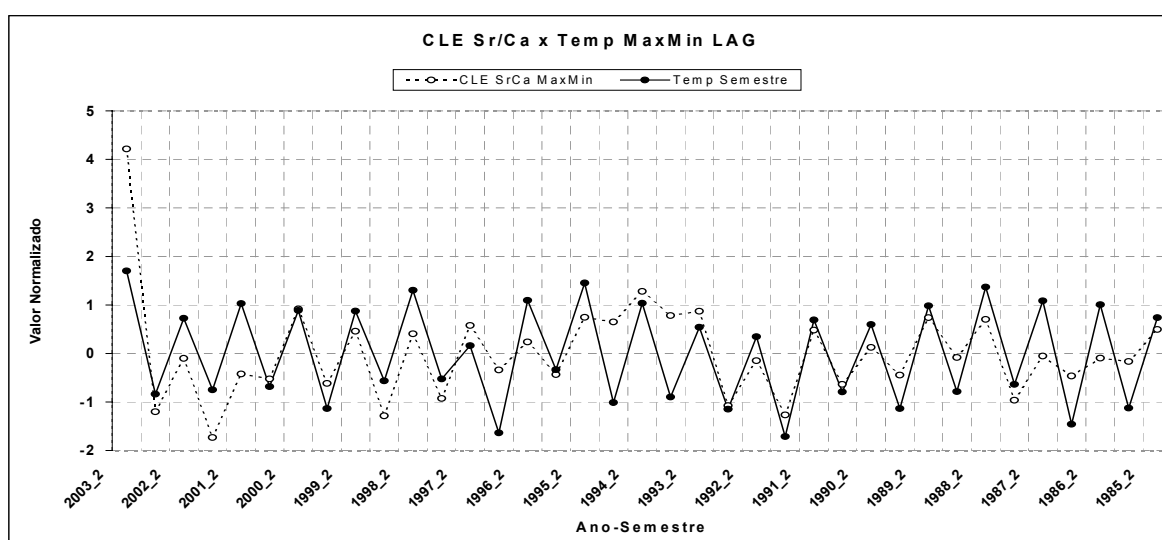


Fig 5.2.1.2.b – Razão Sr/Ca versus TSM (com defasagem) em CLE

As Figuras 5.2.1.2.c e d ilustram a dispersão dos dados da razão Sr/Ca em função da TSM no testemunho CLE entre os semestres 2003-4 e 1985-2, respectivamente sem e com aplicação da defasagem (*lag*) de um semestre. A relação inversa encontrada no pareamento dos dados contemporâneos passa a ser direta após a aplicação da defasagem (*lag*).

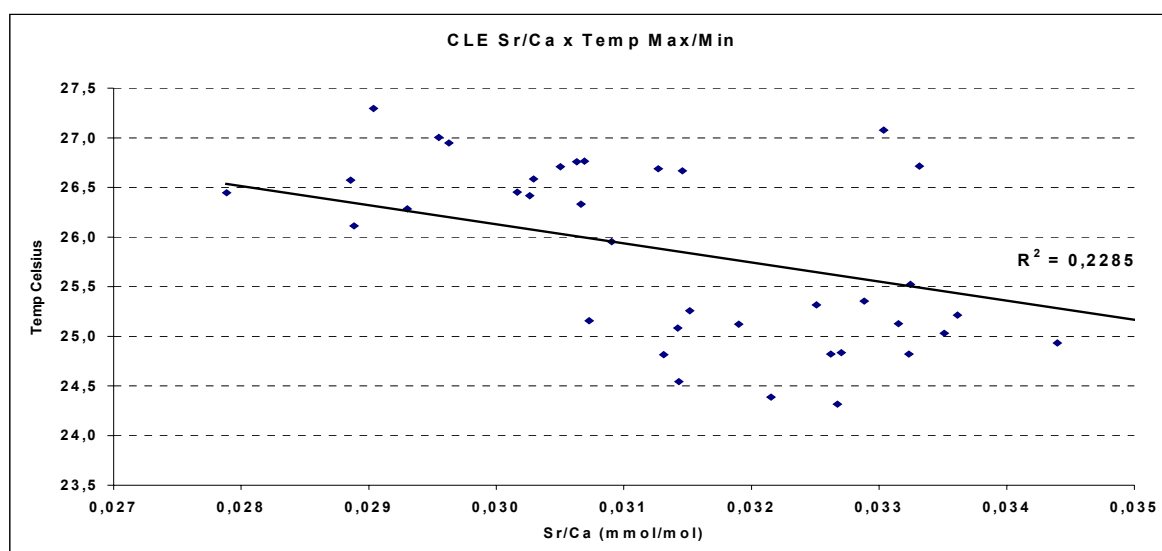


Fig 5.2.1.2.c - Dispersão de dados - Sr/Ca versus TSM em CLE

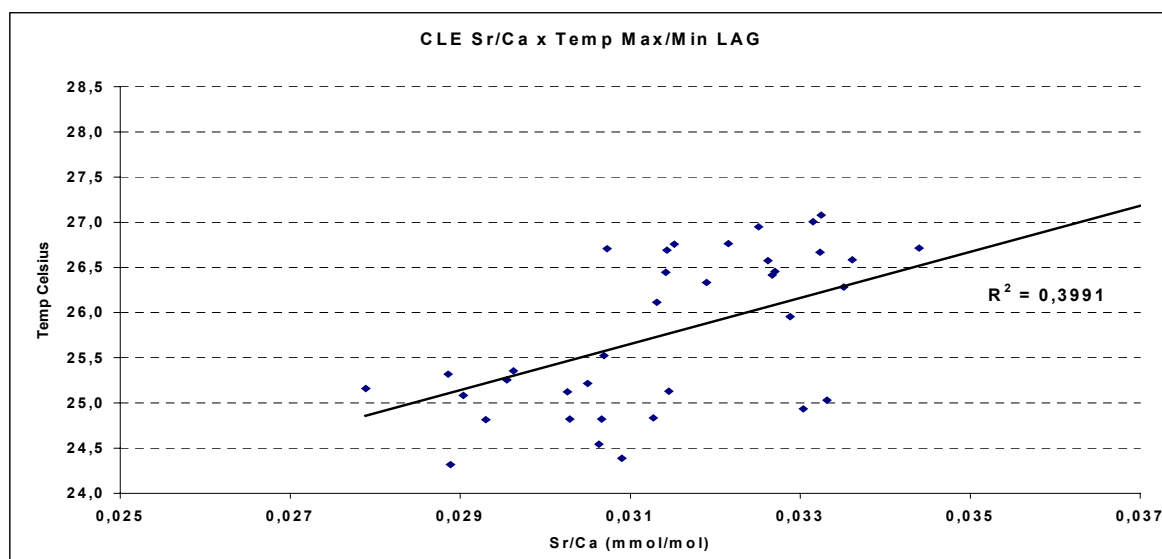


Fig 5.2.1.2.d – Dispersão de dados - Sr/Ca versus TSM (com defasagem) em CLE

As Figuras 5.2.1.e e f ilustram o resumo dos comportamentos encontrados entre as séries de dados semestrais da razão Sr/Ca e da TSM nos testemunhos CAB-2 e CLE, respectivamente antes e após a aplicação da defasagem (*lag*) de um semestre. Nota-se uma inversão praticamente total após a aplicação da defasagem nos dois testemunhos; em CAB-2 o comportamento predominante passa de síncrono a antagônico, ao passo que em CLE o comportamento predominantemente passa de antagônico a síncrono.

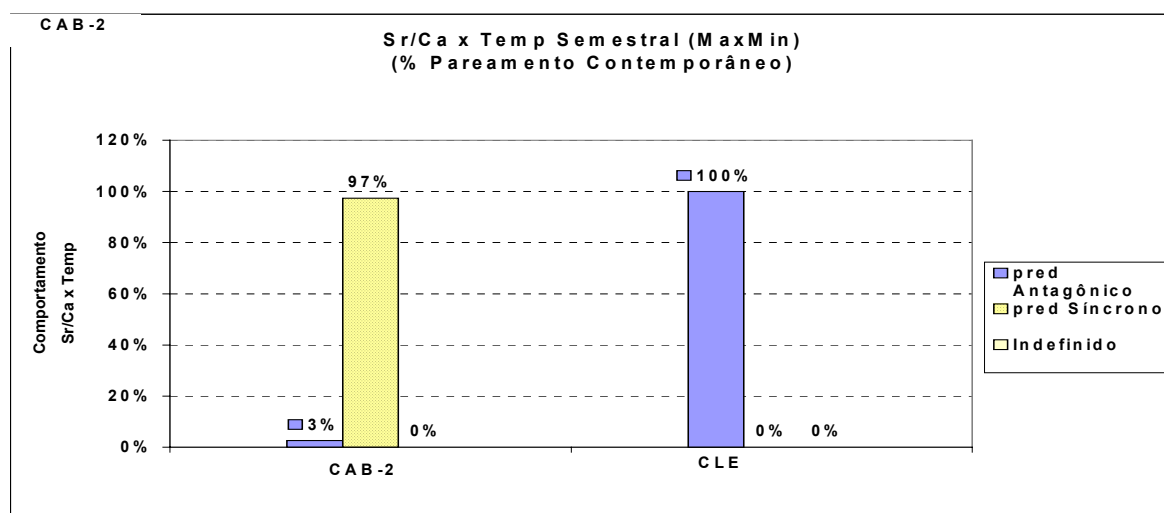


Fig 5.2.1.e – Sr/Ca x TSM Semestral, Pareamento Contemporâneo, CAB-2 e CLE

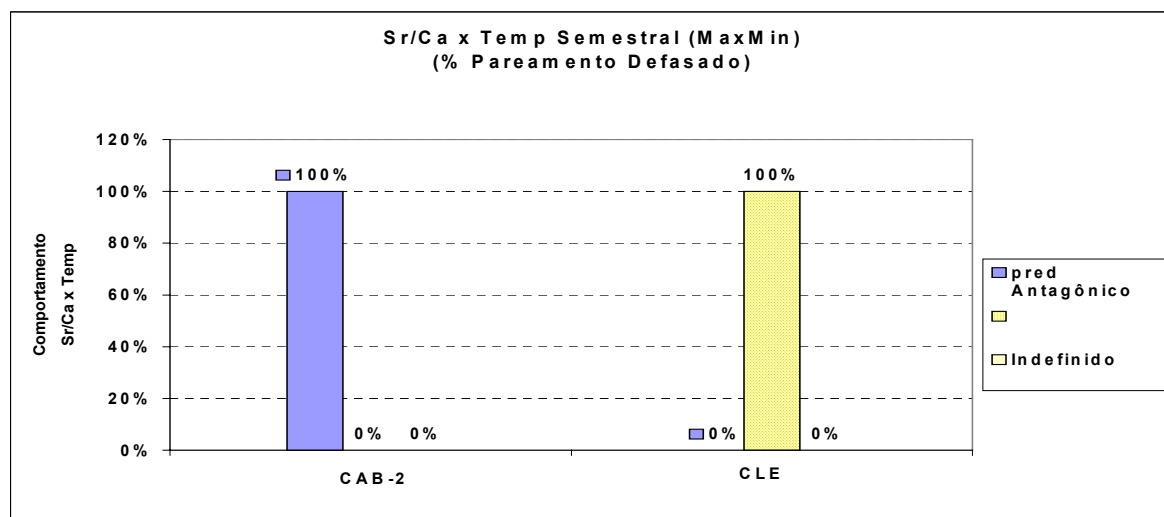


Fig 5.2.1.f - Sr/Ca x TSM Semestral, Pareamento Defasado, CAB-2 e CLE

5.2.2 Mg/Ca – Visão Geral

Os dados semestrais da razão Mg/Ca encontrados nos testemunhos CAB-2 e CLE estão apresentados na Tabela 5.2.2.

Tabela 5.2.2 – Visão geral dos ciclos semestrais da razão Mg/Ca nos testemunhos CAB-2 e CLE

	CAB-2	CLE
Grupo I - Ciclos totais (anteriores e posteriores ao registro da TSM)	131	50
Ciclo semestral geoquímico mais antigo (aprox)	1948-4	1979-2
No. de ciclos semestrais anteriores ao registro de temperatura	94	13
Razão máxima neste período	0,0013641	0,0035272
Razão mínima neste período	0,0003094	0,0009972
Grupo II - Ciclos totais posteriores ao registro da TSM	37	37
Razão máxima neste período	0,0013641	0,0035272
Razão mínima neste período	0,0010890	0,0009972
Média	0,0011548	0,0012393
Desvio Padrão	0,0000537	0,0004060
Média + Desvio Padrão	0,0012621	0,0020512
Média – Desvio Padrão	0,0010475	0,0004273
Coefficiente de determinação (R^2) obtido na regressão linear, pareamento contemporâneo das séries geoquímicas e de temperatura	$y = 9576,7x + 14,754$ $R^2 = 0,3483$	$y = -846,57x + 26,862$ $R^2 = 0,1558$
Covariância do pareamento contemporâneo das séries geoquímicas e de temperatura	0,5901273	-0,3947186
LAG - Coeficiente de determinação (R^2) após aplicação de defasagem (<i>lag</i>) no pareamento dos dados	$y = -5236,1x + 31,869$ $R^2 = 0,1046$	$y = 609,84x + 25,066$ $R^2 = 0,0812$
LAG – Covariância após aplicação de defasagem (<i>lag</i>) no pareamento dos dados	-0,3313261	0,2916775

As razões Mg/Ca semestrais máximas e mínimas encontradas nos Grupos I e II se mantiveram inalteradas no testemunho CLE, com discreta alteração no testemunho CAB-2; por sua vez CAB-2 apresenta uma média maior no Grupo II.

5.2.2.1 Mg/Ca – CAB-2

As Figuras 5.2.2.1.a e b ilustram o comportamento dos dados da razão Mg/Ca e da TSM no testemunho CAB-2 entre os semestres 2003-4 e 1985-2, respectivamente sem e com aplicação da defasagem (*lag*) de um semestre. A análise progressiva do pareamento dos dados contemporâneos revela um comportamento predominantemente síncrono, o qual passa a predominantemente antagônico após a aplicação da defasagem (*lag*).

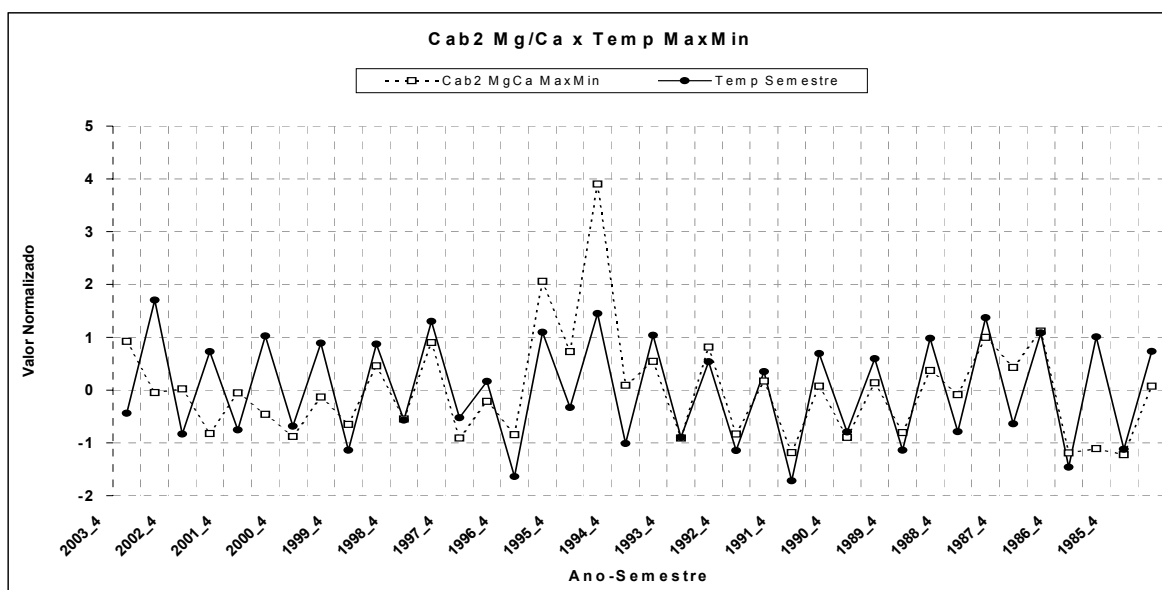


Fig 5.2.2.1.a – Mg/Ca versus TSM em CAB-2

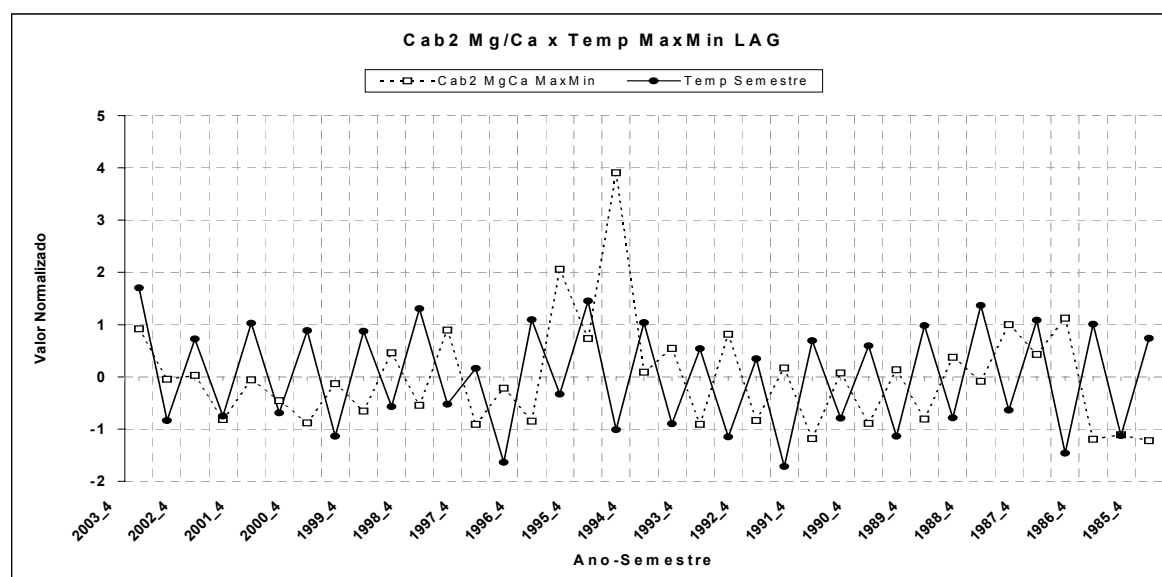


Fig 5.2.2.1.b – Mg/Ca versus TSM (com defasagem) em CAB-2

As Figuras 5.2.2.1.c e d ilustram a dispersão dos dados semestrais da razão Mg/Ca em função da TSM no testemunho CAB-2, respectivamente sem e com aplicação da defasagem (*lag*) de um semestre no pareamento das séries de dados. A dispersão dos dados contemporâneos revela uma relação direta, a qual passa a ser indireta após a aplicação da defasagem (*lag*).

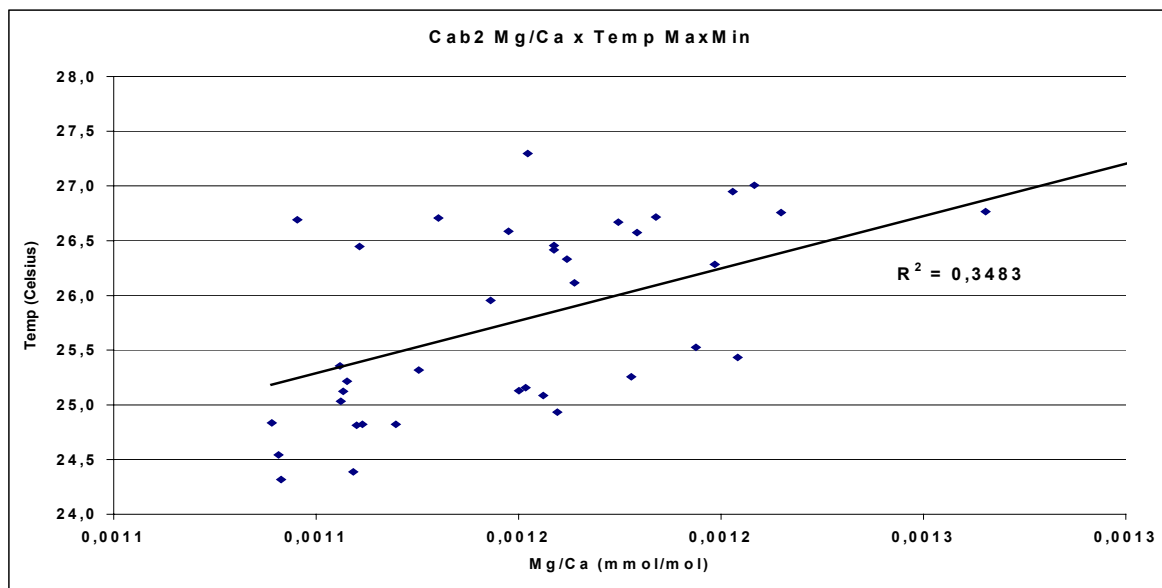


Fig 5.2.2.1.c - Dispersão de dados - Mg/Ca versus TSM em CAB-2

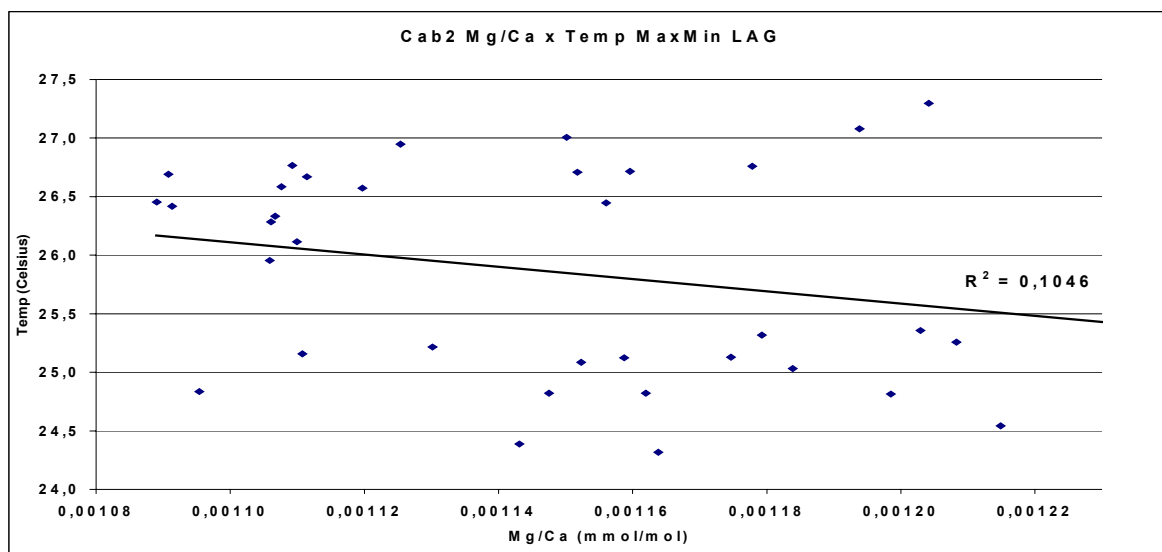


Fig 5.2.2.1.d – Dispersão de dados - Mg/Ca versus TSM (com defasagem) em CAB-2

5.2.2.2 Mg/Ca – CLE

As Figuras 5.2.2.2.a e b ilustram o comportamento dos dados da TSM e da razão Mg/Ca no testemunho CLE entre os semestres 2003-4 e 1985-2, respectivamente sem e com aplicação da defasagem (lag) de um semestre no pareamento das séries de dados. Ao contrário do que foi encontrado no testemunho CAB-2, a análise progressiva do pareamento dos dados contemporâneos do testemunho CLE revela um comportamento predominantemente síncrono, o qual passa a ser predominantemente antagônico após a aplicação da defasagem (*lag*). Nota-se um pico acentuado da razão Mg/Ca entre os anos 1995 a 1996, período coincidente com um evento ENSO, mas não está claro se este pico está relacionado à variação da TSM ou à ocorrência de outros eventos.

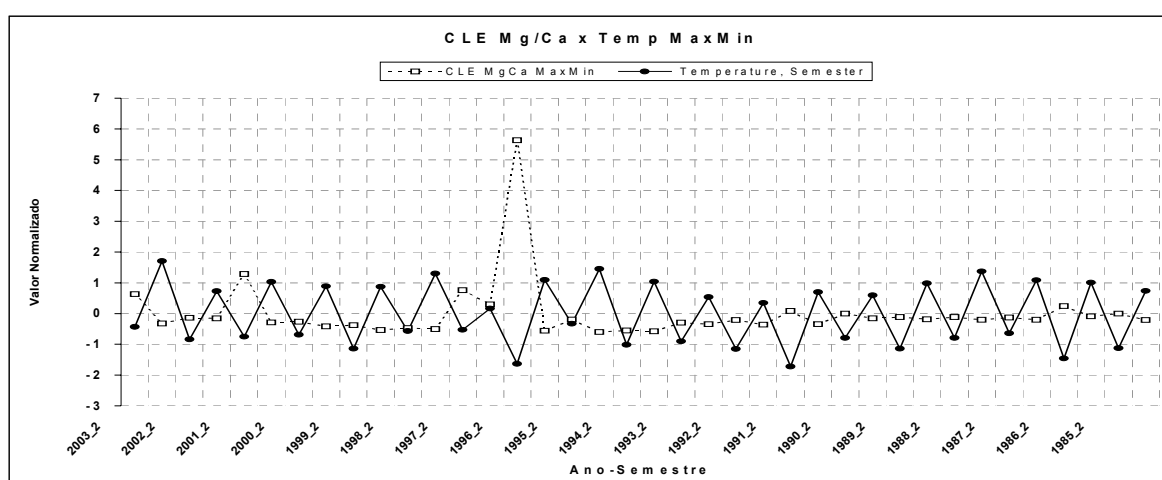


Fig 5.2.2.2.a – Mg/Ca versus TSM em CLE

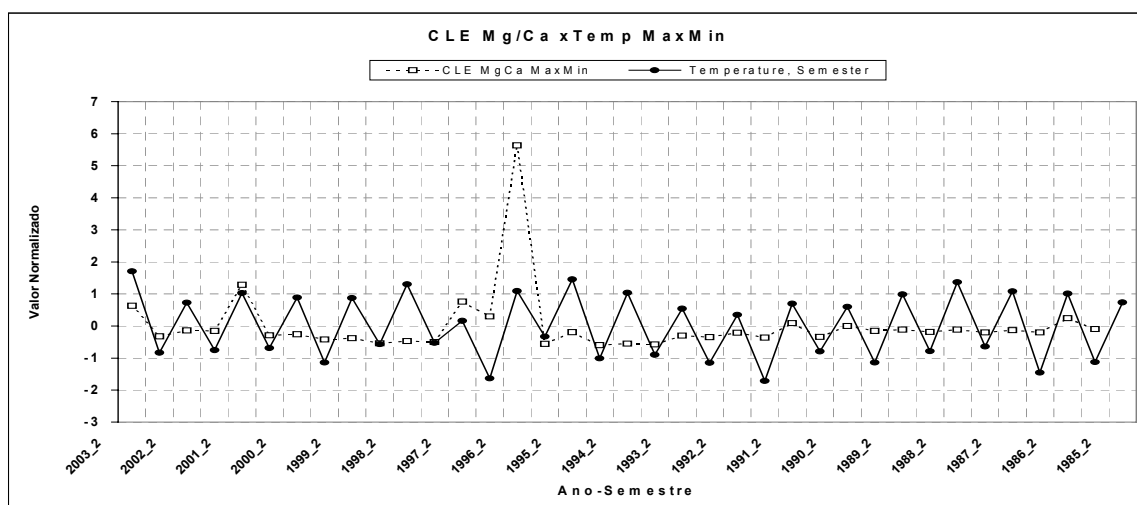


Fig 5.2.2.2.b – Mg/Ca versus TSM (com defasagem) em CLE

As Figuras 5.2.2.2.c e d apresentam a dispersão dos dados da razão Mg/Ca em função da TSM, antes e após a aplicação da defasagem (*lag*) de um semestre. A relação indireta observada na dispersão dos dados contemporâneos passa a ser direta após a aplicação da defasagem.

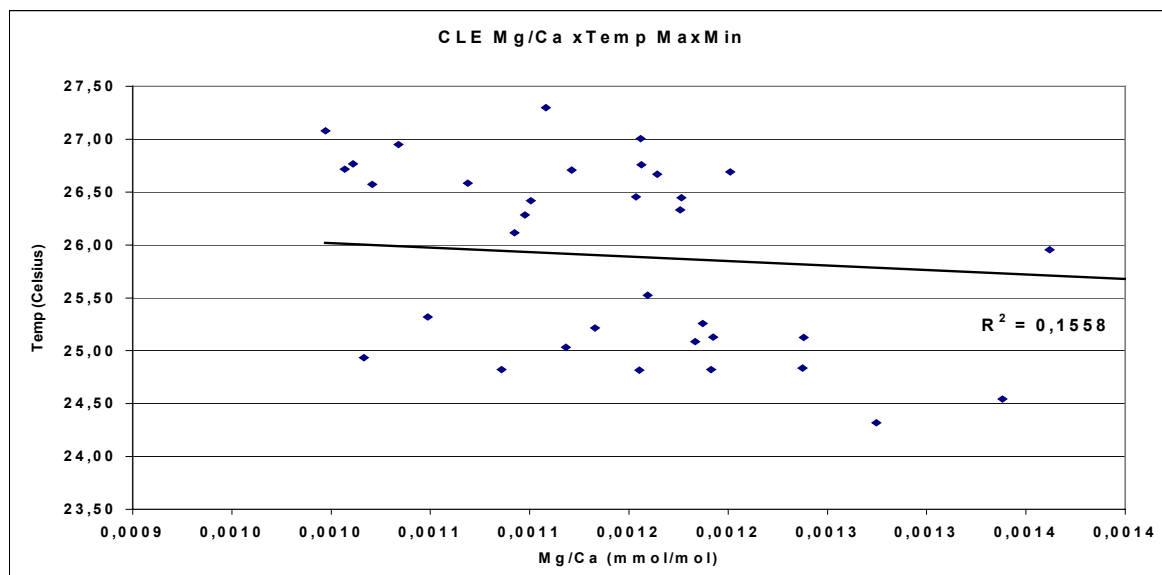


Fig 5.2.2.2.c - Dispersão de dados - Mg/Ca *versus* TSM em CLE

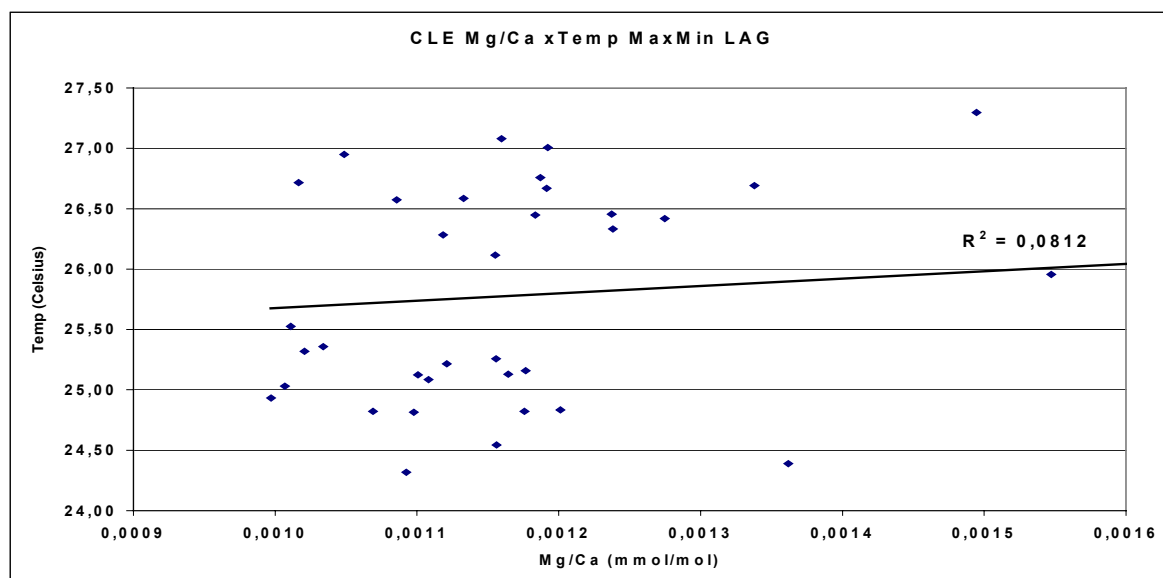


Fig 5.2.2.2.d – Dispersão de dados - Mg/Ca *versus* TSM (com defasagem) em CLE

As Figuras 5.2.2.e e f resumem os comportamentos encontrados entre as séries de dados semestrais da razão Mg/Ca e da TSM nos testemunhos CAB-2 e CLE, respectivamente antes e após aplicação da defasagem (*lag*) de um semestre, analisando-se o comportamento de cada intervalo pareado ao longo do tempo. O pareamento de dados contemporâneos em CAB-2 revela predominância de comportamento síncrono; o pareamento defasado revela um comportamento predominantemente antagônico entre as duas séries de dados. Quanto ao testemunho CLE, observa-se o contrário: a predominância do antagonismo encontrado no pareamento contemporâneo passa a predominantemente síncrono após a aplicação da defasagem de um semestre.

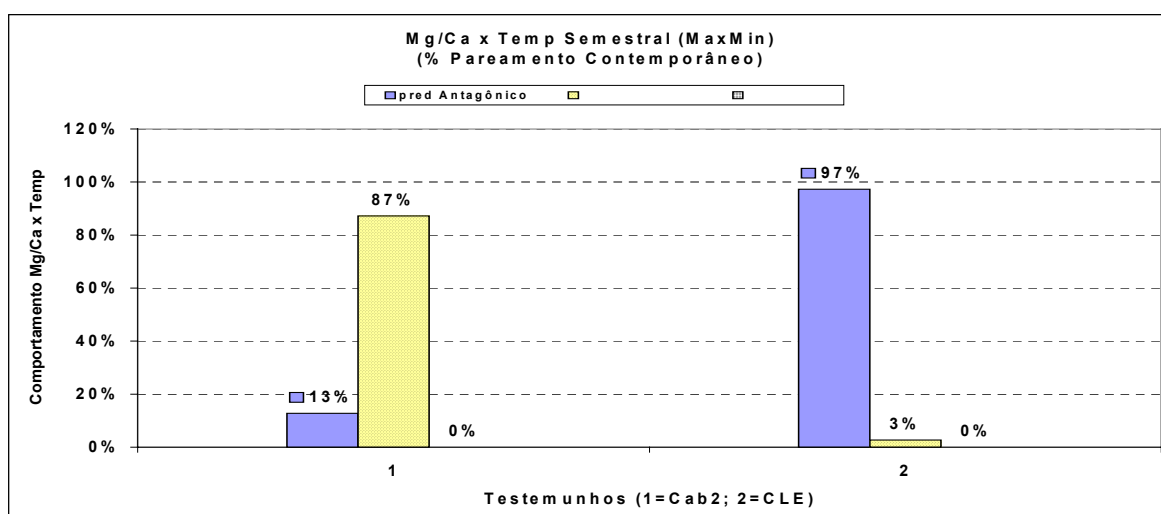


Fig 5.2.2.e – Mg/Ca x TSM Semestral, Pareamento Contemporâneo, CAB-2 e CLE

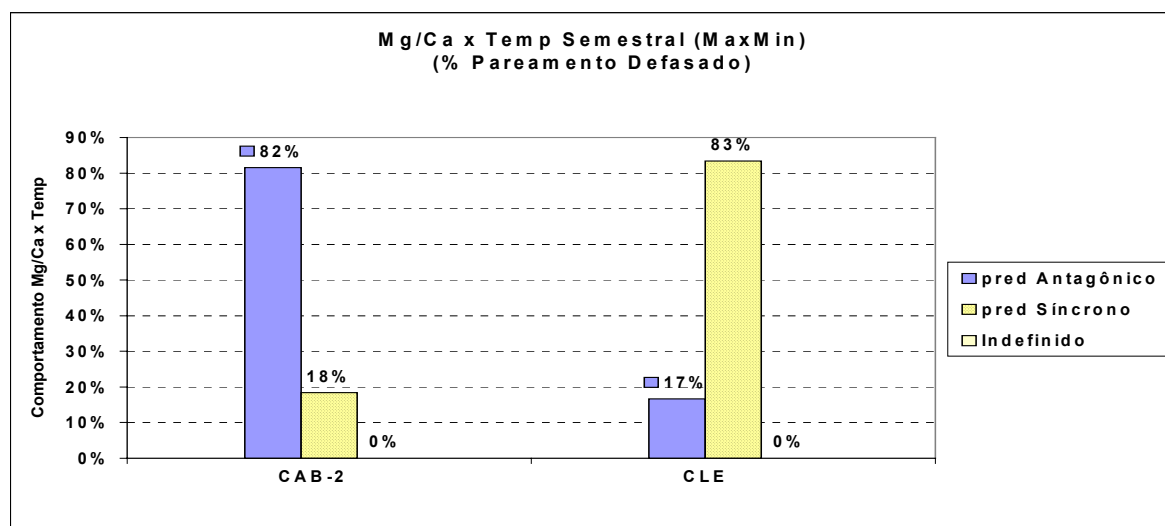


Fig 5.2.2.f - Mg/Ca x TSM Semestral, Pareamento Defasado, CAB-2 e CLE

5.2.3 Ba/Ca – Visão Geral

A Tabela 5.2.3 apresenta os dados semestrais da razão Ba/Ca nos testemunhos CAB-2 e CLE.

Tabela 5.2.3 – Visão geral dos ciclos semestrais da razão Ba/Ca nos testemunhos CAB-2 e CLE

	CAB-2	CLE
Grupo I - Ciclos totais (anteriores e posteriores ao registro da TSM)	127	43
Ciclo semestral geoquímico mais antigo	1940-4	1982-4
No. de ciclos semestrais anteriores ao registro de temperatura	90	6
Razão máxima neste período	0,0001084	0,0001495
Razão mínima neste período	-0,0000009	0,0000307
Grupo II - Ciclos posteriores ao registro da TSM	37	37
Razão máxima neste período	0,0000740	0,0001495
Razão mínima neste período	0,0000211	0,0000307
Média	0,0000351	0,0000536
Desvio Padrão (DP)	0,0000117	0,0000181
Média + 2DP	0,0000585	0,0000897
Média – 2DP	0,0000118	0,0000174
Coeficiente de determinação (R^2) obtido na regressão linear, pareamento contemporâneo das séries geoquímicas e de temperatura	$y = -24208x + 26,664$ $R^2 = 0,1053$	$y = -18088x + 26,782$ $R^2 = 0,1407$
Covariância do pareamento contemporâneo das séries geoquímicas e de temperatura	-0,3245420	-0,3751317
LAG - Coeficiente de determinação (R^2) após aplicação de defasagem (<i>lag</i>) no pareamento dos dados	$y = 30918x + 24,727$ $R^2 = 0,168$	$y = 21532x + 24,668$ $R^2 = 0,2002$
LAG – Covariância após aplicação de defasagem (<i>lag</i>) no pareamento dos dados	0,4141428	0,4580451

CLE apresenta valores semestrais máximos e mínimos da razão Ba/Ca iguais nos Grupos I e II, o que não ocorre com o testemunho CAB-2. No Grupo II a média de CLE é superior àquela de CAB-2.

5.2.3.1 Ba/Ca – CAB-2

As Figuras 5.2.3.1.a e b ilustram o comportamento dos dados da TSM e da razão Ba/Ca encontrados no testemunho CAB-2 entre os semestres 2003-4 e 1985-2, respectivamente sem e com aplicação da defasagem (*lag*) de um semestre. A análise progressiva do pareamento dos dados contemporâneos revela um comportamento predominantemente antagônico, o qual torna-se predominantemente síncrono após a aplicação da defasagem. Nota-se dois picos importantes das razões semestrais da razão Ba/Ca entre os semestres 1997-2 e 1990-2.

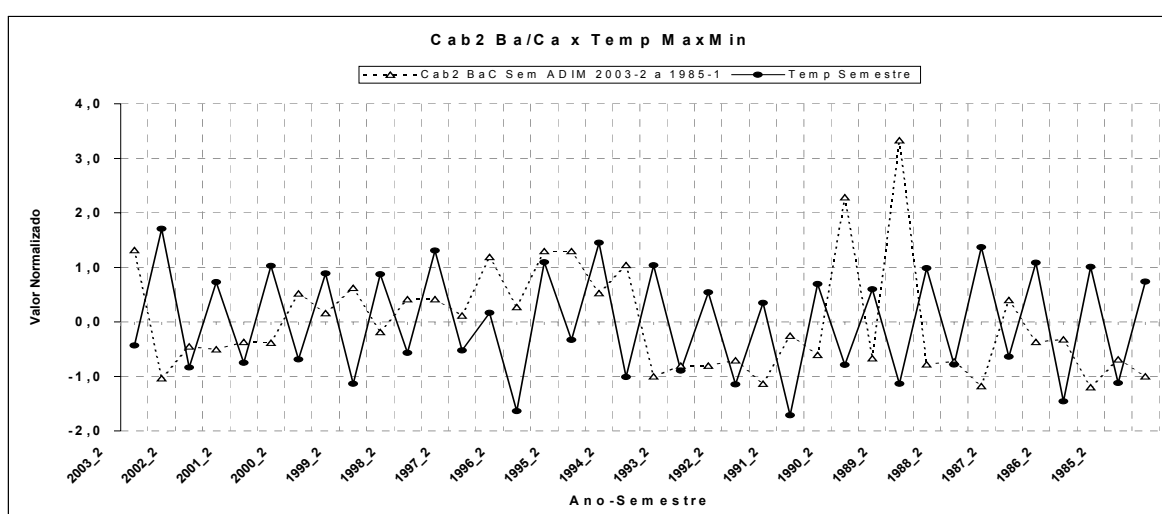


Fig 5.2.3.1.a – Ba/Ca versus TSM em CAB-2

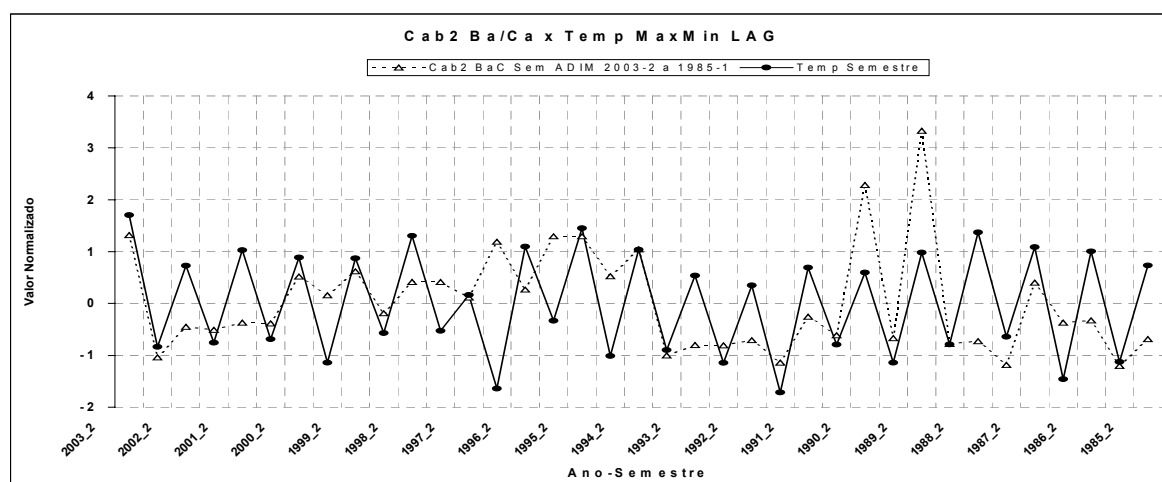


Fig 5.2.3.1.b – Ba/Ca versus TSM (com defasagem) em CAB-2

As Figuras 5.2.3.1.c e d ilustram a dispersão dos dados semestrais da razão Ba/Ca em função da TSM no testemunho CAB-2, respectivamente sem e com aplicação da defasagem (*lag*) de um semestre no pareamento das séries de dados. A relação inversa encontrada na dispersão dos dados contemporâneos passa a ser indireta após a aplicação da defasagem.

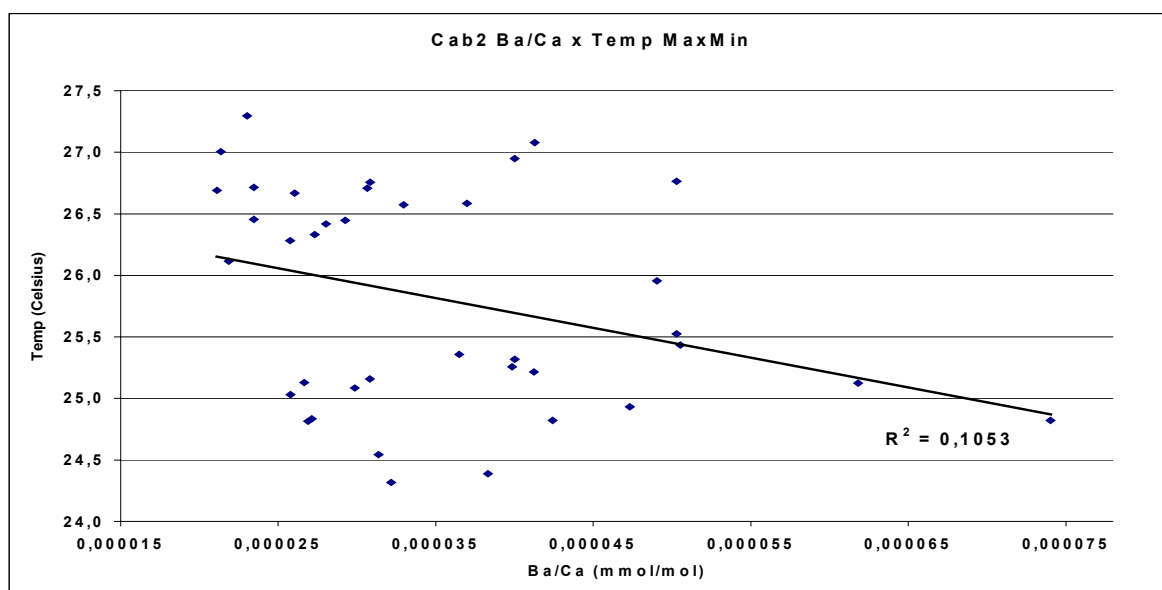


Fig 5.2.3.1.c - Dispersão de dados - Ba/Ca versus TSM em CAB-2

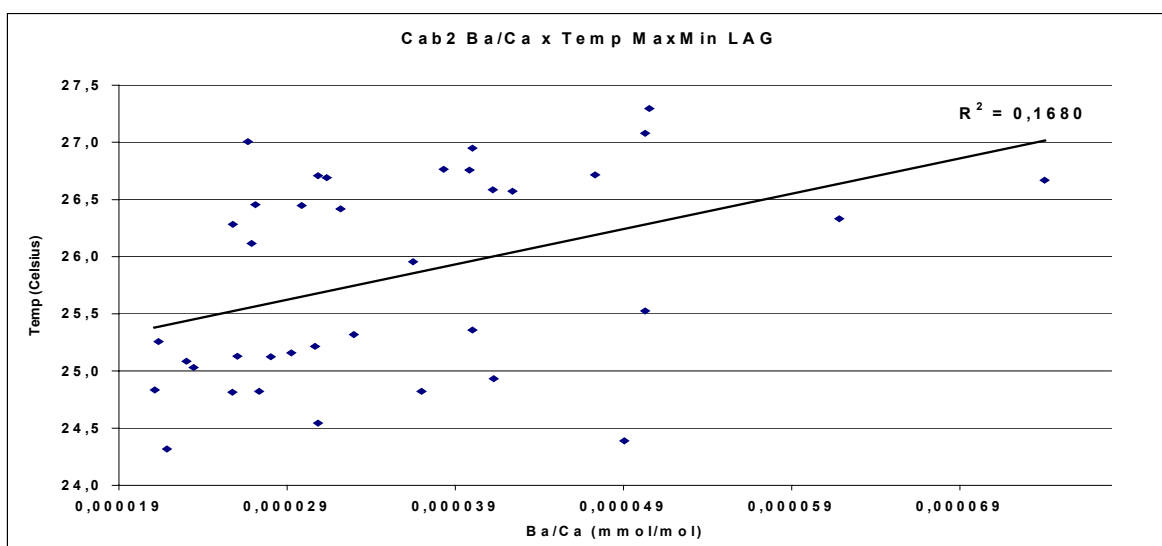


Fig 5.2.3.1.d – Dispersão de dados - Ba/Ca versus TSM (com defasagem) em CAB-2

5.2.3.2 Ba/Ca – CLE

As Figuras 5.2.3.2.a e b ilustram o comportamento dos dados da razão Ba/Ca e TSM no testemunho CLE entre os semestres 2003-4 e 1985-2, respectivamente sem e com aplicação da defasagem (*lag*) de um semestre no pareamento das séries de dados geoquímicos e da TSM. A análise progressiva do pareamento dos dados contemporâneos revela um comportamento predominantemente antagônico, o qual passa a predominantemente síncrono após a aplicação da defasagem.

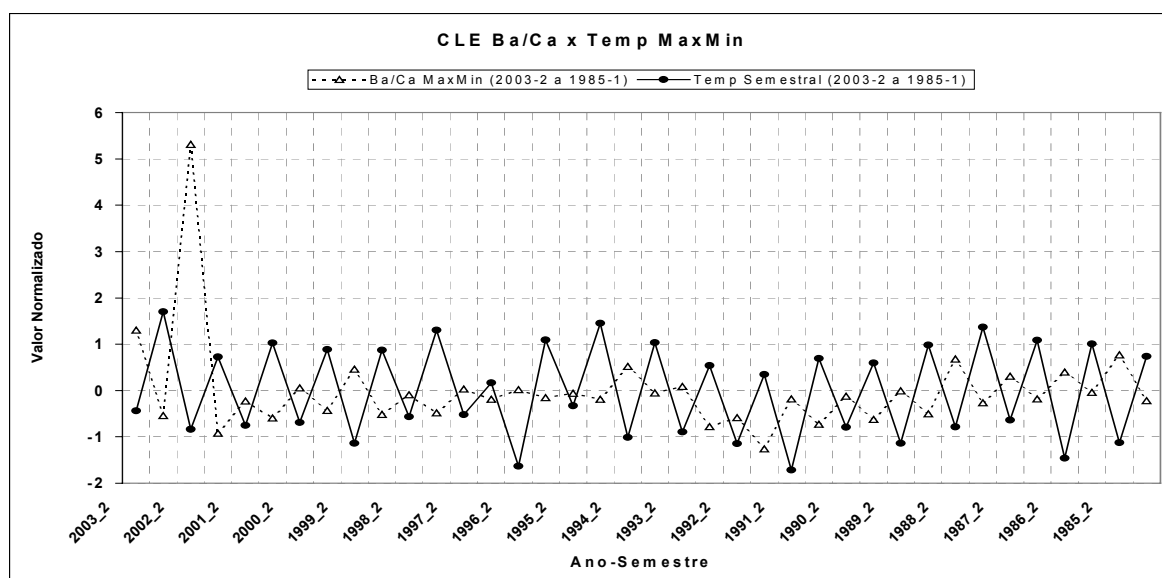


Fig 5.2.3.2.a – Ba/Ca versus TSM em CLE

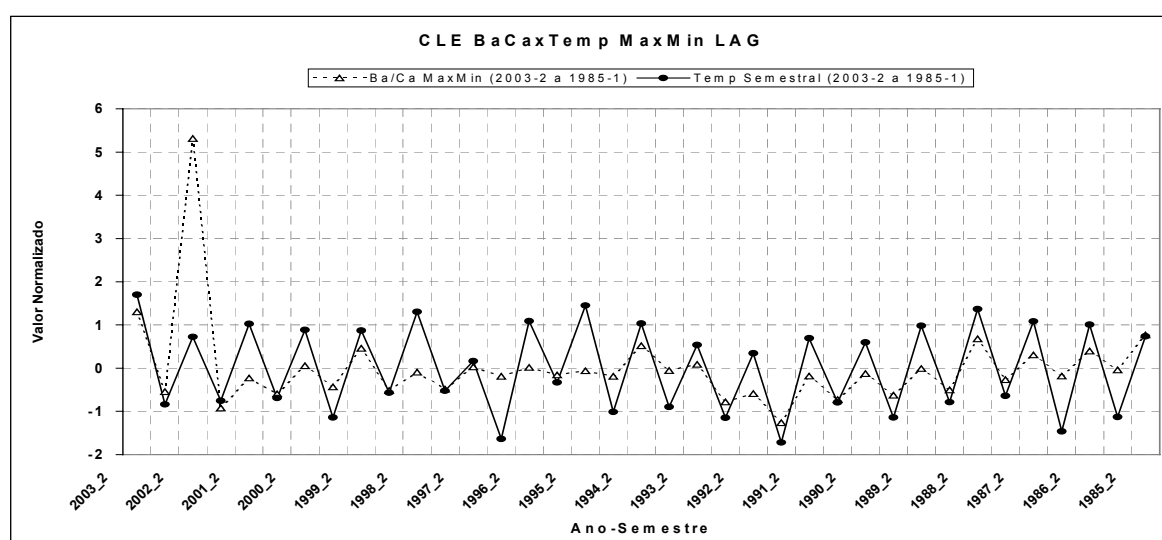


Fig 5.2.3.2.b – Ba/Ca versus TSM (com defasagem) em CLE

As Figuras 5.2.3.2.c e d ilustram a dispersão de dados semestrais da razão Ba/Ca em função da TSM em CLE, antes e após a aplicação da defasagem (*lag*) de um semestre. A relação inversa encontrada na dispersão dos dados contemporâneos passa a ser predominantemente direta após a aplicação da defasagem.

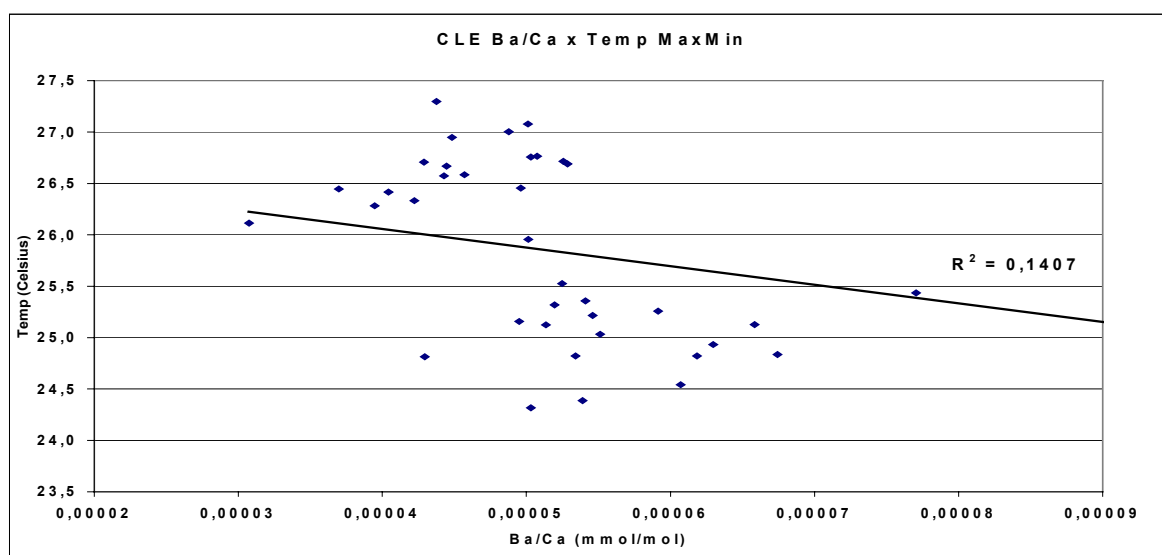


Fig 5.2.3.2.c - Dispersão de dados - Ba/Ca *versus* TSM em CLE

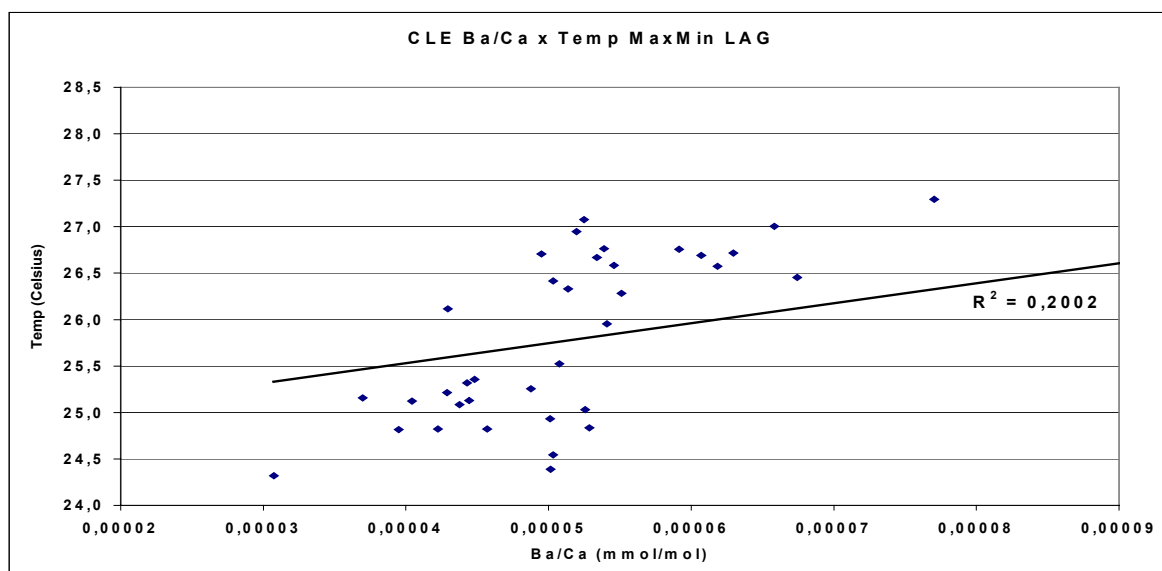


Fig 5.2.3.2.d – Dispersão de dados - Ba/Ca *versus* TSM (com defasagem) em CLE

As Figuras 5.2.3.e e f ilustram o resumo dos comportamentos encontrados entre as séries de dados semestrais da razão Ba/Ca e da TSM nos testemunhos CAB-2 e CLE, respectivamente antes e após a aplicação da defasagem (*lag*) de um semestre. Em ambos testemunhos o pareamento contemporâneo revela uma predominância de comportamento antagônico, o qual é invertido para síncrono após a aplicação da defasagem. .

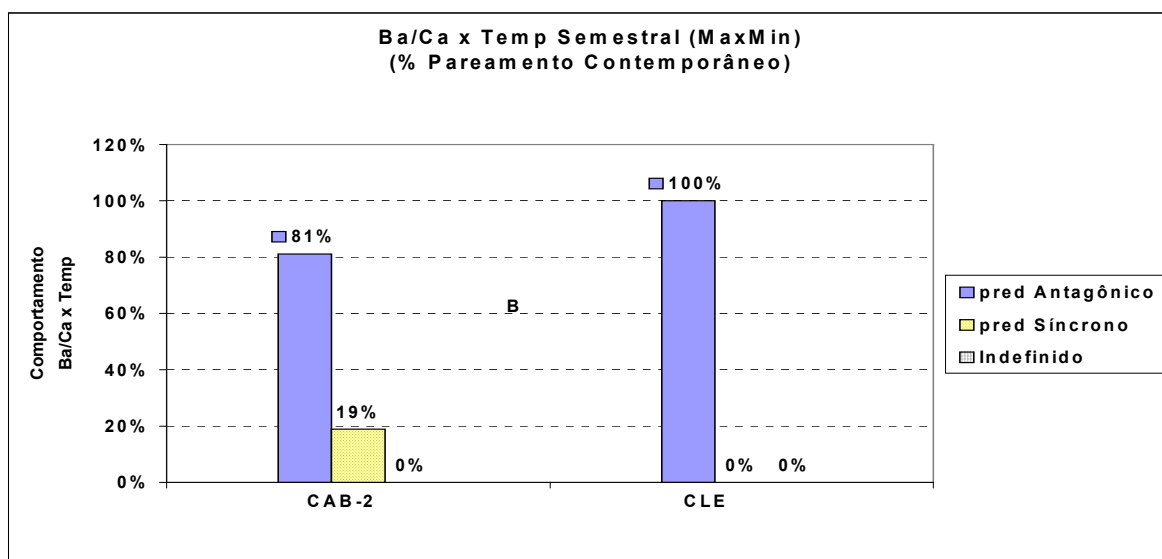


Fig 5.2.3.e – Ba/Ca x TSM Semestral, Pareamento Contemporâneo, CAB-2 e CLE

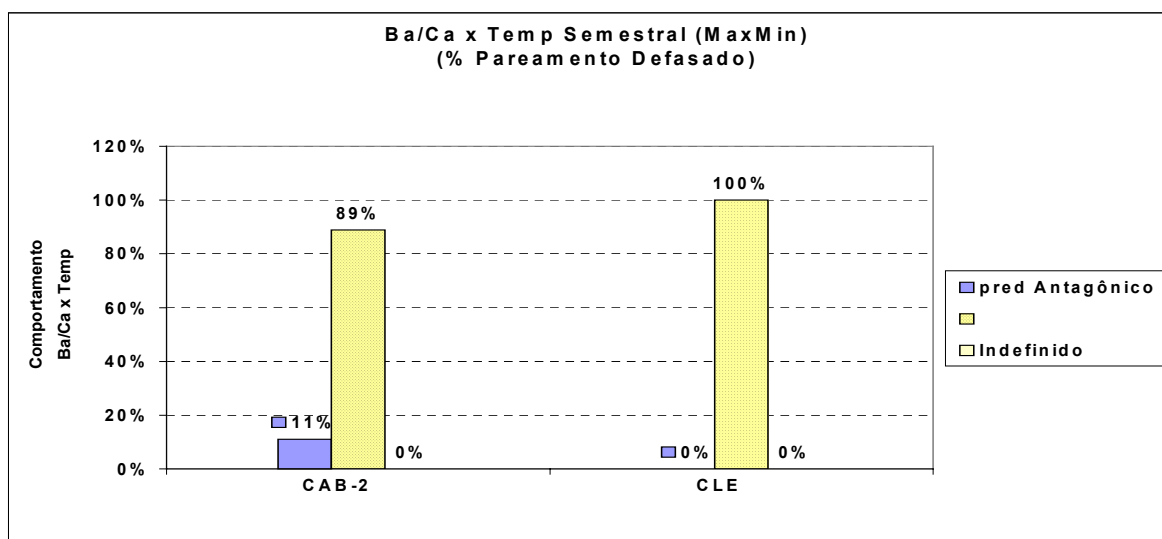


Fig 5.2.3.f - Ba/Ca x TSM Semestral, Pareamento Defasado, Todas Estações

Os Quadros 5.3 a 5.5. resumem, em valores absolutos e porcentuais, os comportamentos encontrados após diversos pareamentos dos dados geoquímicos e da TSM. Os dados são apresentados por razão geoquímica, tipo de pareamento (contemporâneo e defasado), período de tempo (anual e semestral) e testemunho. Cada quadro indica o número total de intervalos pareados, o número de intervalos predominantemente antagônicos, predominantemente síncronos e indefinidos. A análise do comportamento ao longo de cada intervalo pareado permite uma melhor compreensão da relação entre as séries dos dados geoquímicos e da TSM entre os anos 2003 e 1985. Os achados desta análise progressiva, ao longo do tempo, são consistentes com as dispersões dos dados e respectivos coeficientes de Pearson (R^2).

Quadro 5.3 - Resumo de Todos os Pareamentos entre Sr/Ca e TSM

PAREAMENTO CONTEMPORÂNEO				PAREAMENTO DEFASADO			
Sr/Ca X TSM - ANUAL				Sr/Ca X TSM - ANUAL			
	Comportamento	CAB-2	CLE		Comportamento	CAB-2	CLE
No. de Intervalos	pred Antagônico	9	8	No. de Intervalos	pred Antagônico	6	10
	pred Síncrono	7	10		pred Síncrono	11	7
	Indefinido	0	0		Indefinido	0	0
Total		16	18	Total (I)		17	17
% de Intervalos	% pred Antagônico	56%	44%	% de Intervalos	% pred Antagôni	35%	59%
	% pred Síncrono	44%	56%		% pred Síncrono	65%	41%
	% Indefinido	0%	0%		% Indefinido	0%	0%
	Fechamento	100%	100%		Fechamento	100%	100%
Sr/Ca x TSM - SEMESTRAL				Sr/Ca x TSM - SEMESTRAL			
	Comportamento	CAB-2	CLE		Comportamento	CAB-2	CLE
No. de Intervalos	pred Antagônico	1	37	No. de Intervalos	pred Antagônico	36	0
	pred Síncrono	36	0		pred Síncrono	0	36
	Indefinido	0	0		Indefinido	0	0
Total (I)		37	37	Total (I)		36	36
% de Intervalos	% pred Antagônico	3%	100%	% de Intervalos	% pred Antagôni	100%	0%
	% pred Síncrono	97%	0%		% pred Síncrono	0%	100%
	% Indefinido	0%	0%		% Indefinido	0%	0%
	Fechamento	100%	100%		Fechamento	100%	100%

Quadro 5.4 - Resumo de Todos os Pareamentos entre Mg/Ca e TSM

PAREAMENTO CONTEMPORÂNEO				PAREAMENTO DEFASADO			
Mg/Ca x TSM - ANUAL				Mg/Ca x TSM - ANUAL			
	Comportamento	CAB-2	CLE		Comportamento	CAB-2	CLE
No. de Intervalos	pred Antagônico	8	10	No. de Intervalos	pred Antagônico	5	8
	pred Síncrono	10	8		pred Síncrono	12	9
	Indefinido	0	0		Indefinido	0	0
Total		18	18	Total		17	17
% de Intervalos	% pred Antagônico	44%	56%	% de Intervalos	% pred Antagônico	29%	47%
	% pred Síncrono	56%	44%		% pred Síncrono	71%	53%
	% Indefinido	0%	0%		% Indefinido	0%	0%
	Fechamento	100%	100%		Fechamento	100%	100%
Mg/Ca x TSM - SEMESTRAL				Mg/Ca x TSM - SEMESTRAL			
	Comportamento	CAB-2	CLE		Comportamento	CAB-2	CLE
No. de Intervalos (I)	pred Antagônico	5	36	No. de Intervalos (I)	pred Antagônico	31	6
	pred Síncrono	34	1		pred Síncrono	7	30
	Indefinido	0	0		Indefinido	0	0
Total		39	37	Total		38	36
% de Intervalos (I)	% pred Antagônico	13%	97%	% de Intervalos (I)	% pred Antagônico	82%	17%
	% pred Síncrono	87%	3%		% pred Síncrono	18%	83%
	% Indefinido	0%	0%		% Indefinido	0%	0%
	Fechamento	100%	100%		Fechamento	100%	100%

Quadro 5.5 - Resumo de Todos os Pareamentos entre Ba/Ca e TSM

PAREAMENTO CONTEMPORÂNEO				PAREAMENTO DEFASADO			
Ba/Ca x TSM ANUAL				Ba/Ca x TSM ANUAL			
	Comportamento	CAB-2	CLE		Comportamento	CAB-2	CLE
No. de Intervalos	pred Antagônico	8	12	No. de Intervalos	pred Antagônico	8	6
	pred Síncrono	10	6		pred Síncrono	9	11
	Indefinido	0	0		Indefinido	0	0
Total		18	18	Total (I)		17	17
% de Intervalos	% pred Antagônico	44%	67%	% de Intervalos	% pred Antagônico	47%	35%
	% pred Síncrono	56%	33%		% pred Síncrono	53%	65%
	% Indefinido	0%	0%		% Indefinido	0%	0%
	Fechamento	100%	100%		Fechamento	100%	100%
Ba/Ca x TSM SEMESTRAL				Ba/Ca x TSM SEMESTRAL			
	Comportamento	CAB-2	CLE		Comportamento	CAB-2	CLE
No. de Intervalos	pred Antagônico	30	37	No. de Intervalos	pred Antagônico	4	0
	pred Síncrono	7	0		pred Síncrono	32	36
	Indefinido	0	0		Indefinido	0	0
Total (I)		37	37	Total (I)		36	36
% de Intervalos	% pred Antagônico	81%	100%	% de Intervalos	% pred Antagônico	11%	0%
	% pred Síncrono	19%	0%		% pred Síncrono	89%	100%
	% Indefinido	0%	0%		% Indefinido	0%	0%
	Fechamento	100%	100%		Fechamento	100%	100%

5.3 Taxa de Extensão Linear Baseada na Razão Sr/Ca e Razão Sr/Ca Média em CAB-2 x CLE

Uma vez constatada a variabilidade entre as razões geoquímicas das amostras de CAB-2 e CLE e considerando-se o corte de tais amostras a cada 2 mm ao longo do eixo de crescimento, avaliou-se como se comportam as taxas de extensão linear de ambos testemunhos. Tomou-se como base o número de amostras encontradas em cada ciclo anual da razão Sr/Ca, o qual foi multiplicado por 2, pois as amostras foram cortadas a cada 2 mm. A Figura 5.3.1. ilustra a comparação das taxas de crescimento em CAB-2 e CLE, revelando uma relação predominantemente inversa, fato que também deve ser levado em consideração ao se analisar a comparação das respectivas séries da razão Sr/Ca e da TSM.

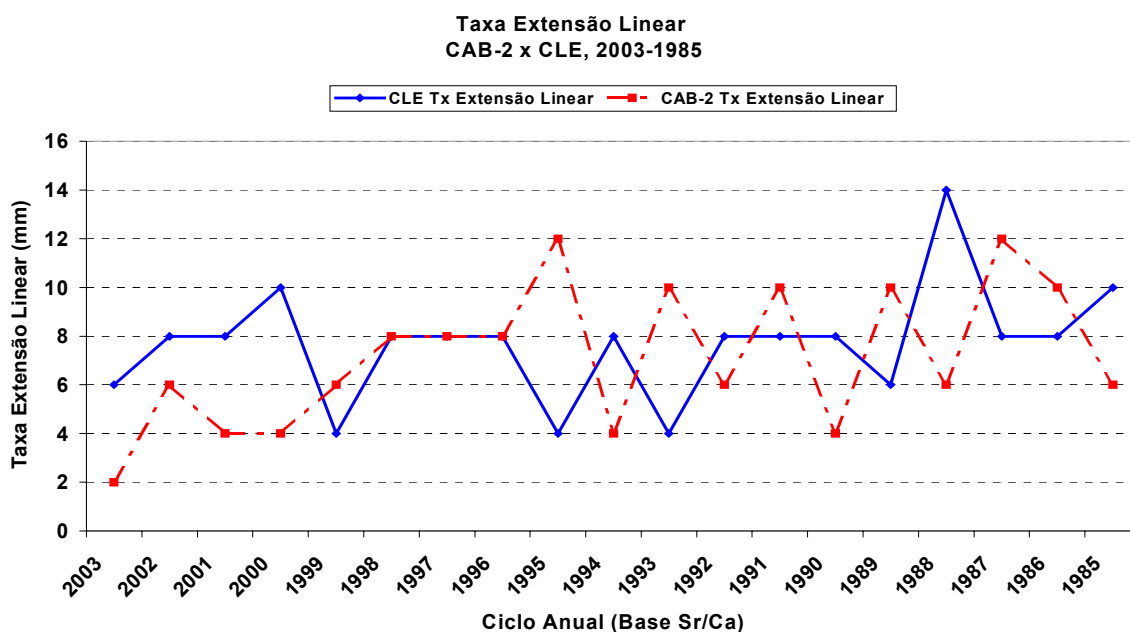


Fig. 5.3.1 – Taxa de Extensão Linear CAB-2 x CLE

As médias das razões Sr/Ca encontradas em cada ciclo anual da Figura 5.3.1 estão diagramadas na Figura 5.3.2, revelando um padrão antagonístico similar àquele observado na figura anterior. Cada média foi obtida somando-se as razões de cada ciclo, em seguida dividiu-se o valor obtido pelo número de amostras do respectivo ciclo.

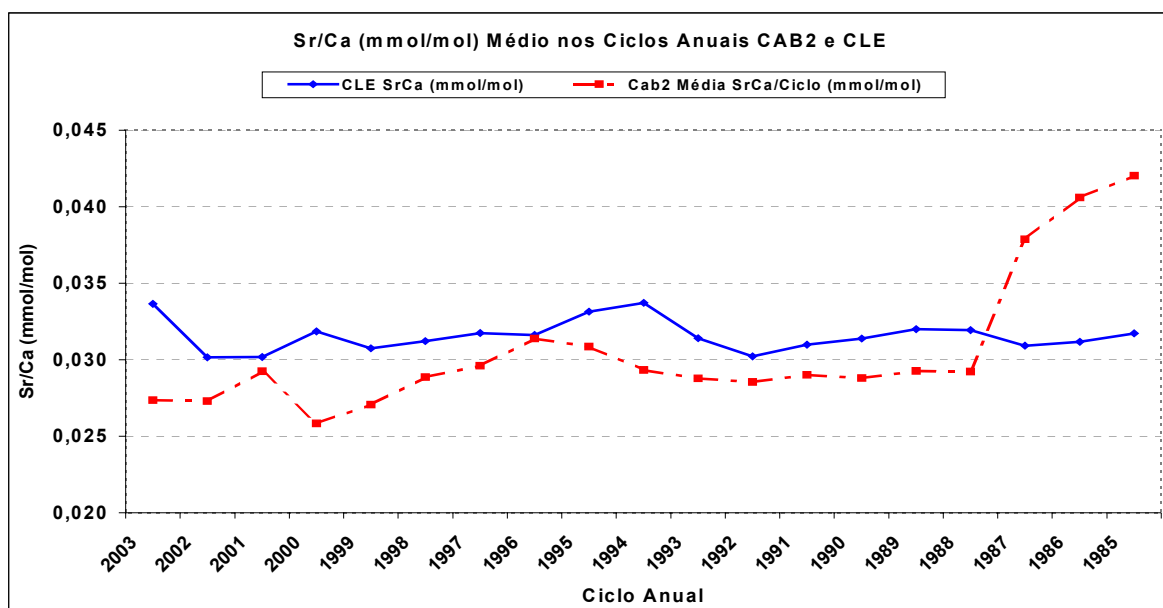


Fig. 5.3.2 – Razões Médias Sr/Ca, CAB-2 x CLE

6. DISCUSSÃO

O princípio da correlação entre crescimento coralino e variações da TSM foi postulado por Ma em 1933, após detectar alterações morfológicas em esqueletos de corais. No seu trabalho intitulado “Sobre mudanças sazonais de crescimento num coral formador de recife, *Favia speciosa* (DANA) e temperatura da água dos mares japoneses durante os últimos tempos geológicos” o autor demonstrou que tais características morfológicas encontradas nos corais recentes e fósseis nada mais significavam do que o ciclo anual de crescimento em resposta às mudanças sazonais da temperatura da água na qual os animais viveram.

Desde então muitos avanços ocorreram, corroborando o princípio apresentado por Ma. Knutson *et al.* (1972) descobriram que as radiografias revelam o bandamento de densidade nos corais hermatípicos. Posteriormente foi demonstrado que este bandamento de densidade é formado anualmente, utilizando-se uma variedade de métodos: análise do decaimento radioativo (Dodge & Thomson, 1974), coloração de esqueletos (Stearn *et al.* 1977) e coleta seqüencial (Hudson *et al.* 1976). Estudos posteriores evidenciaram que a incorporação de elementos menores e elementos traços na aragonita dos esqueletos coralinos parece ser controlada por aspectos químicos e/ou de temperatura, assim como pelo fracionamento de isótopos estáveis de oxigênio entre a aragonita coralina e a água do mar (Mitsughuchi, 2000). A correlação entre a razão Mg/Ca e a TSM foi inicialmente estudada por Chave (1954). A correlação entre a razão Sr/Ca e a TSM foi inicialmente estudada por Weber (1973), enquanto Shen *et al.* (1987) correlacionaram a razão Ba/Ca e a TSM.

Com o intuito de verificar o efeito do desenho amostral sobre os resultados obtidos, elaborou-se o Quadro 6.a, o qual ilustra as concentrações máximas e mínimas dos elementos traços encontrados no Estudo Piloto e no Estudo Principal e as respectivas variações (Δ). No Estudo Piloto as amostras foram cortadas com base no bandamento de densidade anual, numa extensão média de 8 mm, ao passo que no Estudo Principal as amostras foram cortadas a cada 2 mm ao longo do maior eixo de crescimento. Vale salientar que ambos estudos foram realizados com a mesma espécie de coral, utilizando-se o mesmo laboratório e o mesmo equipamento analítico. No caso específico do testemunho CLE, o corte das amostras para o Estudo Piloto foi feito na lateral direita da fatia (*slab*) enquanto as amostras para o Estudo Principal foram cortadas no lado esquerdo da mesma. Todos os cortes foram feitos a partir do topo para a base do testemunho.

Devido à maior extensão analisada no testemunho CAB-2, ou seja, 41,4 cm, a autora esperava que o mesmo apresentasse as maiores variações de todos os elementos analisados, mas curiosamente apenas o elemento Sr apresentou a maior amplitude neste testemunho ($\Delta = 3641$), enquanto o testemunho CLE utilizado no Estudo Principal apresentou as maiores amplitudes dos elementos Mg ($\Delta = 1631$) e Ba ($\Delta = 14$). A extensão linear analisada no testemunho CLE durante o Estudo Principal foi 17,2 cm; no Estudo Piloto

esta extensão foi 14,55 cm. Estes achados revelam a importância que deve ser dada ao desenho amostral na aquisição e interpretação de dados geoquímicos para estudos desta natureza.

Quadro 6.a – Comparação das concentrações de Sr, Mg e Ba nos Estudos Piloto e Principal

Estudo	Testemunho e Extensão Linear	Sr (ppm)	Mg (ppm)	Ba (ppm)
Piloto	CLE (14,55 cm; lado direito)	4800 – 5500 ($\Delta = 700$)	829 – 1215 ($\Delta = 386$)	2 – 10 ($\Delta = 8$)
Principal	CAB2 (41,4 cm)	4553 – 8194 ($\Delta = 3641$)	203 – 882 ($\Delta = 679$)	0 – 12 ($\Delta = 12$)
	CLE (17,2 cm; lado esquerdo)	5044 – 7218 ($\Delta = 2174$)	629 – 2260 ($\Delta = 1631$)	3 – 17 ($\Delta = 14$)

Em relação aos valores encontrados por estudos conduzidos em outras regiões do mundo, geralmene utilizando corais coletados no oceano Pacífico, no Caribe e na costa da Flórida, Mitsuguchi (2000) reporta como valores usuais ~7000 a 8000 ppm para Sr, ~700 a 1200 ppm para Mg e ~1 a 30 ppm para Ba. Os valores de Sr mais próximos a tais faixas foram encontrados no testemunho CLE do Estudo Principal e os valores de Mg mais próximos foram encontrados no testemunho CLE do Estudo Piloto. Os valores mínimos encontrados pelo presente estudo para Ba em todos testemunhos se aproximam do valor mínimo citado por Mitsuguchi (2000). Entretanto os valores máximos estão muito abaixo do valor máximo citado por ele. Além do desenho amostral e da fisiologia entre as diferentes espécies, a circulação oceânica é um fator a ser considerado ao se analisar tais diferenças, pois a maioria dos estudos ainda é realizada com corais coletados no Oceano Pacífico, na costa da Flórida e no Caribe. Possivelmente diferenças na dinâmica das correntes oceânicas e no aporte de nutrientes, em comparação com as encontradas na área do presente estudo, sejam a causa dos resultados distintos observados. Especificamente em relação ao elemento Sr, Beck *et al.* (1992) reportaram que, apesar do longo tempo de residência de Sr nos oceanos ($5,1 \times 10^6$), os oceanos modernos apresentam variações geográficas deste elemento que extrapolam as incertezas analíticas. Isso explica as diferenças encontradas nos valores medidos neste trabalho em relação àqueles reportados por Mitsuguchi (2000). No seu estudo de 1996, Mitsuguchi propõe que variações temporais e geográficas na razão Mg^{2+}/Ca^{2+} provavelmente têm pouca influência sobre a variação da razão Mg/Ca nos corais *Porites*; os seus resultados indicam que razão Mg/Ca tem potencial para prover indicadores rápidos, precisos e de alta resolução para a TSM tropical pretérita. Talvez a proximidade da costa e as mudanças nas características da água do mar sejam responsáveis por tais diferenças.

Apesar da ciclicidade bem definida encontrada para cada razão no Estudo Principal, foram encontrados dezesseis ciclos anuais para todas as razões em CAB-2 e em CLE após o início do registro da TSM. Quanto aos ciclos semestrais, foram encontrados trinta e sete ciclos para todas as razões e testemunhos, à exceção da razão Sr/Ca em CLE, cujo número de ciclos semestrais é trinta e oito. Desse

modo, percebe-se que há variações de curto prazo na extensão e na magnitude das concentrações dos elementos, mas o número de ciclos é similar.

A análise progressiva do comportamento semestral entre a razão Sr/Ca e a TSM em CAB-2 mostra um comportamento síncrono predominando no pareamento dos dados contemporâneos, mas tal comportamento passa a ser predominantemente antagônico após a aplicação da defasagem, apesar da fraca relação indicada pelos valores de R^2 ; o comportamento antagônico está em consonância com os achados de Weber (1973) e Goreau (1977). De acordo com Cohen (2002), o aumento da TSM e da taxa de fotossíntese das algas simbiontes reduz a quantidade relativa de Sr incorporada pelo esqueleto em crescimento, o que causa uma sazonalidade exagerada nos ciclos da razão Sr/Ca de corais simbiontes. Além desta sazonalidade esperada, nota-se uma redução progressiva dos valores mínimos desta razão no testemunho CAB-2 desde aproximadamente 1948 (Fig 5.1.1.1), o que poderia indicar um aumento progressivo da TSM naquela região, o que mostraria uma elevação na temperatura em consonância com o aquecimento global. Por outro lado, em CLE, verifica-se exatamente o esperado: relação inversa com a TSM, e, com a defasagem, torna-se direta e com valores superiores a 0,2. Possivelmente esta diferença de comportamento se deve às características dos ambientes onde os testemunhos foram coletados, as quais afetariam também o tempo ótimo para incorporação do Sr. Ou seja, a estação CAB-2 está mais distante da dinâmica costeira e da descarga fluvial/pluviosidade que é também controlada pela variação de temperatura, ao passo que a estação CLE está mais próxima da costa e, portanto, mais suscetível a tais mudanças. Segundo Nobre e Melo (2001), a variabilidade interanual da pluviometria sobre o Nordeste está associada a variações de padrões de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) sobre os oceanos tropicais, os quais afetam a posição e a intensidade da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) sobre o Oceano Atlântico, modulando assim a pluviometria sobre o norte do Nordeste. Desta forma a intensidade da descarga fluvial nesta região também é influenciada pela TSM e pode estar refletida na variação dos elementos carreados do continente.

A razão Mg/Ca apresenta um comportamento predominantemente síncrono com a TSM em CAB-2 e antagônico em CLE, tanto no intervalo anual quanto semestral, antes e após a aplicação da defasagem. Tal sincronismo está em concordância com os achados de Chave (1954) e Goreau (1977), mas está em discordância com os achados de Weber (1974). Observando-se as variações máximas nos dois testemunhos de Abrolhos, verifica-se que em CAB-2 ela é menor, provavelmente devido à distância da costa, afastado da influência da descarga fluvial que pode afetar a composição da água e a concentração de material em suspensão próximo dos recifes costeiros, onde CLE foi coletado.

O comportamento predominantemente antagônico registrado entre Ba/Ca e TSM no testemunho CLE analisado no Estudo Piloto e no Estudo Principal indica seu potencial como indicador indireto da TSM na região de coleta do testemunho CLE, localizado a cerca de 12 km da costa. Este achado está em concordância com estudos realizados com o coral *Porites* na região de Galápagos (Shen *et al.* 1987, 1991, 1992; Lea *et al.* 1989; Linn *et al.* 1990; Shen & Sanford, 1990; Delaney *et al.* 1993), onde durante os eventos

ENSO as razões Ba/Ca são reduzidas. Embora não haja ressurgência na área de coleta de CLE, a dinâmica de nutrientes provavelmente pode ser explicada pela proximidade da costa, onde desembocam os rios Buranhém, Jucuruçu, Itanhém, Peruípe e Caravelas. O valor máximo da razão Ba/Ca encontrado em CLE é praticamente o dobro da concentração encontrada em CAB-2, o que reforça a hipótese de uma maior influência de nutrientes no ambiente dos recifes mais próximos da costa, provenientes da descarga fluvial.

A aplicação da defasagem (*lag*) teve maior impacto no intervalo semestral, indicando ser este provavelmente o intervalo de tempo ótimo para um efeito tardio da TSM sobre a maior disponibilidade dos elementos traços analisados neste estudo, entretanto estudos adicionais são recomendados para confirmação desta hipótese

Em relação à extensão linear calculada com base na razão Sr/Ca, foram encontrados valores médios similares, mas o comportamento anual é essencialmente distinto nos dois testemunhos, provavelmente sugerindo que a dinâmica costeira tem influência direta sobre a incorporação de Sr durante a esqueletogênese. A turbidez na coluna d'água, causada principalmente por sedimentos suspensos na região mais próxima da costa, atuaria como redutor da luminosidade e da fotossíntese das zooxantelas simbiotes que fornecem energia aos corais para seu desenvolvimento. A razão Sr/Ca foi selecionada para este exercício devido à sua ampla aceitação como indicador da TSM. Num estudo realizado com quatro colônias de *Montastrea*, Saenger *et al* (2008) constataram que os teores de Sr/Ca eram controlados tanto pelo TSM quanto pela taxa de extensão média anual, sugerindo que calibrações Sr/Ca-TSM incorporando taxas de extensão linear podem melhorar significativamente a correlação entre Sr/Ca e TSM instrumental.

De maneira geral a proximidade e a distância da costa se refletem na variabilidade dos ciclos geoquímicos anuais e semestrais encontrados para as razões Sr/Ca, Mg/Ca e Ba/Ca, e, conseqüentemente, na sua relação com os dados da TSM, sendo Sr/Ca e Mg/Ca potenciais indicadores de TSM em ambientes distantes da costa e Ba/Ca em ambientes próximos à mesma. Neste estudo o testemunho CLE representa o ambiente próximo da costa e o testemunho CAB-2 representa o ambiente distante da mesma.

A correlação com os eventos ENSO ocorridos a partir de 1985, cujo histórico completo está ilustrado no Quadro 6.b., parece mais significativa para Sr/Ca registrada em CAB-2, onde, à exceção do evento ENSO do ano 1991, os anos mais quentes estão correlacionados aos picos de Sr/Ca registrados entre 1985 e 1988, 1997 e 2002

Quadro 6.b: Histórico de ocorrência dos eventos ENSO. Os anos de cada categoria correspondem ao primeiro trimestre do ano-ENSO, ou seja, outubro, novembro e dezembro. Por exemplo, o ano-ENSO 1970 começa em outubro de 1970 e termina em setembro de 1971. (Fonte Center for Ocean-Atmospheric Prediction Studies-COAPS Florida State University, <http://www.cdc.noaa.gov/people/klaus.wolter/MEI/mei.html>, acessado 18nov2007)

Fase Fria (La Niña)	Fase Neutra	Fase Quente (El Niño)
1869	1876	1868
1870	1878	1877
1871	1879	1880
1872	1881-1885	1888
1873	1887	1896
1874	1890	1899
1875	1891	1902
1886	1894	1904
1889	1895	1905
1892	1897	1911
1893	1898	1913
1903	1900	1918
1906	1901	1925
1908	1907	1929
1909	1912	1930
1910	1914	1940
1916	1915	1951
1922	1917	1957
1924	1919	1963
1938	1920	1965
1942	1921	1969
1944	1923	1972
1949	1926	1976
1954	1927	1982
1955	1928	1986
1956	1931-1937	1987
1964	1939	1991
1967	1941	1997
1970	1943	2002
1971	1945-1948	
1973	1950	
1974	1952	
1975	1953	
1988	1958-1962	
1998	1966	
1999	1968	
	1977-1981	
	1983	
	1984	
	1985	
	1989	
	1990	
	1992-1996	
	2000	
	2001	
	2003-2005	

7. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

Conclusão

Em relação ao objetivo deste estudo, os achados sugerem que as razões Mg/Ca encontradas nas amostras do coral *Mussismilia braziliensis* (Verrill 1868) apresentam maior potencial como indicadores da TSM em exemplares coletados em estações distantes da costa - a exemplo da estação CAB, ao passo que as razões Sr/Ca e Ba/Ca apresentam maior potencial para utilização como indicadores da TSM em estações de coleta próximas da costa e sob influência da descarga fluvial, a exemplo de CLE.

Em relação aos objetivos específicos, os achados indicam que as razões Sr/Ca, Mg/Ca e Ba/Ca encontradas nos testemunhos CAB-2 e CLE mostram ciclicidade anual e semestral. Quando comparados, os ciclos da razão Sr/Ca e Ba/Ca registrados nos testemunhos CAB-2 e CLE apresentam uma relação predominantemente inversa; os ciclos da razão Mg/Ca dos dois testemunhos se comportam de maneira relativamente similar, à exceção de alguns picos reportados em CLE. As razões geoquímicas oscilam juntamente com as variações da TSM (temperatura da superfície do mar). Com base nos achados deste estudo, acredita-se que o período de quatro a seis meses seja o tempo ótimo para a atuação tardia da TSM sobre a maior disponibilidade de Sr, Mg e Ba durante a esquelotogênese; estudos adicionais são sugeridos para aprofundamento desta hipótese.

Recomendações

A primeira recomendação se refere ao desenho amostral de estudos futuros com estas mesmas razões geoquímicas, espécie de coral e equipamento analítico. Embora exista um tempo aparentemente ótimo de quatro a seis meses para detecção de impacto da temperatura sobre a incorporação de alguns elementos traços, sugere-se que os cortes sejam feitos num intervalo mínimo de 2mm, a exemplo do Estudo Principal, controlando-se a correspondência destas amostras com o bandamento de densidade, para comparação futura sobre a cronologia geoquímica e de densidade. Recomenda-se também a realização de estudos adicionais para melhor entendimento da fisiologia que governa a incorporação de Sr, Mg e Ba durante a esqueletogênese nesta espécie de coral.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alibert C. & McCulloch M.T. 1997. Strontium/Calcium ratios in modern *Porites* corals from the Great Barrier Reef as a proxy for sea surface temperature: Calibration of the thermometer and monitoring of ENSO. *Paleoceanography*, 12: 345-363.
- Alibert C., Kinsley L., Fallon S.J., McCulloch M.T., Berkelmans R. & McAllister F. 2003. Source of trace element variability in Great Barrier Reef corals affected by the Burdekin flood plumes, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 67:231-246.
- Bak R.P.M. 1978. Lethal and sublethal effects of dredging on reef corals. *Marine Pollution Bulletin*, 9:14-16.
- Bak R.P.M., 1978. Lethal and sublethal effects of dredging on reef corals. *Marine Pollution Bulletin*, 9: 14-16.
- Barnes D.J., Lough J.M. 1993. On the nature and causes of density banding in massive coral skeletons. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 167: 91-108.
- Barnes D.J., Lough J.M. 1996. Coral skeletons: storage and recovery of environmental information. *Global Change Biology*, 2: 569-582.
- Bosscher, H., 1992. Growth potential of coral reefs and carbonate platforms. PhD, Vrije University, Amsterdam, 160pp.
- Beck J.W., Edwards R.L., Ito E., Taylor F.W., Récy J., Rougerie F., Joannot P., & Henin C. 1992. Sea-surface temperature from coral skeletal strontium/calcium ratios. *Science* 257:644-647.
- Boto K., Isdale P. 1985. Fluorescent bands in massive corals result from terrestrial fulvic acid inputs to nearshore zone. *Nature* 315:396-397.
- Bradley R.S., Jones P.D. 1992. Climate Since A.D. 1500, Routledge, Londres, 679 pp.
- Broecker W.S. & Denton G.H. 1989. The role of ocean-atmosphere reorganizations in glacial cycles. *Geochim. Cosmochim. Acta* 53:2465-2501.
- Brown B.E. 1997b. Coral bleaching: causes and consequences. *Coral Reefs*, 16: S129-S138.
- Brown B.E. & Howard L.S. 1985. Assessing the Effects of "Stress" on Reef Corals. *Advances in Marine Biology*, 22:1-63.
- Camoin G., Colonna M., Montaggioni L.F., Casanova J., Faure G. & Thomassin B. 1997. Holocene sea level changes and reef development in South-Western Indian Ocean. *Coral Reefs* 16:247-259.
- Carrquiry J.D., Risk M.J. & Schwarcz H.P. 1994. Stable isotope geochemistry of corals from Costa Rica as proxy indicator of the El Niño/Southern Oscillation (ENSO). *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 58: 335-351.
- Carvalho I. S. 2000. *Paleontologia*. , Editora Interciência Ltda, Rio de Janeiro, p.: 351-362.
- Chave K.E. 1954. Aspects of the biogeochemistry of magnesium. 1. Calcareous marine organisms. *J. Geol.* 62:266-283.
- Cohen, A.L., Owens K.E., Layne G.D. & Shimizu N. 2002. The Effect of Algal Symbionts on the Accuracy of Sr/Ca Paleotemperature from Coral. *Science* 296, 331. DOI 10.1126/science.1069330.
- Cohen A.L., McConnaughey, 2003. In Biomineralization, Dove P.M., Werner S. de York (Eds), *Reviews in Mineralogy and Geochemistry* 54:151-287.
- Delaney M. L., Linn L. J., & Druffel E. R. M. 1993. Seasonal cycles of manganese and cadmium in coral from the Galapagos Islands. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 57:347-354.
- Davies, P.J. & Montaggioni L.F., 1985. Reef growth and sea-level change: the environmental signature. In: Proc. 5th Int. Coral Reef Congr., Tahiti 3:477-511.
- DHN 1993. Atlas de Carta Piloto. Marinha do Brasil, Diretoria de Hidrografia e Navegação.
- Dodge R.E. & J. Thomson, 1974. The natural radiochemical and growth records in contemporary hermatypic corals from the Atlantic and Caribbean. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 23: 313-322.
- Dodge R.E., Vaynsnis J.R. 1977. Coral populations and growth patterns: responses to sedimentation and turbidity associated with dredging. *Journal of Marine Research*, 35: 715-730.
- Dodge R.E., Szmant A.M., Garcia R., Swart P.K., Forester A. & Leder J.J., 1993. Skeletal structural basis of density banding in the reef coral *Montastrea annularis*. In: Proc. 7th Int. Coral Reef Symp., Guam, R.H. Richmond (ed.), University of Guam Press, 1:186-195.

- de Villiers S., Shen G.T. & Nelson B.K. 1994. The Sr/Ca-temperature relationship in coralline aragonite: Influence of variability in $(\text{Sr}/\text{Ca})_{\text{seawater}}$ and skeletal growth parameters. *Geochim. Cosmochim. Acta* 58:197-208.
- Dunbar R.B. & Cole J.E. 1993. Coral Records of Ocean-Atmosphere Variability. Report from Workshop on Coral Paleoclimate Reconstruction, Nov 5-8, 1992, La Parguera, Puerto Rico, NOAA Climate & Global Change Program Special Report No.10.
- Dunbar R.B., Wellington G.M., Colgan M.W. & Glynn P.W. 1994. Eastern Pacific sea surface temperature since 1600 A.D.: The $\delta^{18}\text{O}$ record of climate variability in Galapagos corals. *Paleoceanography*, 9:291-315.
- Edwards R.L., Chen J.H., Ku T.-L., Wasserburg G.J., 1987. Precise timing of the last interglacial period from mass spectrometric determination of thorium-230 in corals. *Science*, 236: 1547-1553.
- Fairbanks R.G. & Dodge R.E. 1979. Annual periodicity of the $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ and $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratios in the coral *Montastraea annularis*. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 43:1009-1020.
- Felis T., Patzold J., Loya Y. & Wefer G. 1998. Vertical water mass mixing and plankton blooms recorded in skeletal stable carbon isotopes of a Red Sea coral. *J. Geophys. Res.*, 103(C13): 30.731-30.739.
- Gagan M.K., Chivas A.R. & Isdale P.J. 1994. High-resolution isotopic records from corals using ocean temperature and mass-spawning chronometers. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 121: 549-558.
- Gagan M.K., Ayliffe L.K., Hopley D., Cali J.A., Mortimer G.E., Chappell J., McCulloch M.T., & Head M.J. 1998. Temperature and surface-ocean water balance of the mid-Holocene tropical western Pacific. *Science* 279:1014-1018.
- Gagan M.K., Ayliffe L.K., Beck J.K., Cole J.E., Druffel E.R.M., Dunbar R.B., Schrag D.P., 2000. New Views of Tropical Paleoclimate from Corals. *Quaternary Science Review*, 19:45-64
- Goreau T.J. 1977. Coral skeletal chemistry: physiological and environmental regulation of stable isotopes and trace metals in *Montastrea annularis*. In: *Proc. R. Soc. London Ser. B* 196: 291-315.
- Glynn P.W. 1993. Coral reef bleaching: ecological perspectives. *Coral Reefs*, 12:1-17.
- Glynn P.W. 1996. Coral reef bleaching: Facts, hypotheses and implications. *Global Change Biology*, 2:495-509.
- Guilderson T.P., Fairbanks R.G. & Rubenstone J.L. 1994. Tropical temperature variations since 20,000 years ago: modulating interhemispheric climate change. *Science* 263:663-665.
- Hart, S.R. & Cohen A.L. 1996. An ion probe study of annual cycles of Sr/Ca and other trace elements in corals. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 60:3075-3084
- Hartt. C.F. 1870. *Geology and Physical Geography of Brazil*. Boston, Fields, Osgood and Co., Boston, 620 pp.
- Hope G.S., Peterson J.A., Radok U. & Allison I. 1976. The Equatorial Glaciers of New Guinea: Results of the 1971-1973 Australian Universities Expedition to Irian Jaya. A.A. Balkema, Rotterdam.
- Hudson J.A., Shin E.A., Halley R.B. & Lidz B. 1976. Sclerochronology: A tool for interpreting past environments. *U.S. Geological Survey*, 4:361-364.
- Isdale P., 1984. Fluorescent bands in massive corals record centuries of coastal rainfall. *Nature*, 310:578-579.
- Knutson R.A., Buddemeier R.W. & Smith S.V. 1972. Coral chronometers: seasonal growth bands in reef corals. *Science*, 177:270-272.
- Laborel J.L., 1969. Les peuplements des madreporaires cotes tropicales du Brésil. *Annales Univ. d'Abidjan, Serie E, II Fas. 3*, 260 pp.
- Lea D.W., Shen G.T. & Boyle E.A. 1989. Coralline barium records temporal variability in equatorial Pacific upwelling. *Nature*, 340:373-376.
- Leão Z.M.A.N., 1982. Morphology, geology and developmental history of the southernmost coral reefs Western Atlantic, Abrolhos Bank, Brazil, PhD Thesis, RSMAS, University of Miami, Florida, USA, 218 pp.
- Leão Z.M.A.N. & Kikuchi R.K.P. 1999. The Bahian coral reefs – from 7000 years BP to 2000 years AD. *Ciência e Cultura*, 51: 262–273.
- Leão Z.M.A.N. & Kikuchi, R.K.P. 2001. The Abrolhos Reefs of Brazil, *Ecological Studies*, Vol. 144, U.Seeliger and B.Kjerfve (eds), Coastal Marine Ecosystems of Latin America. Springer-Verlag/Verlin Heidelberg.

- Leão Z.M.A.N, Kikuchi R.K.P. & Testa V. 2003. Corals and coral reefs of Brazil. In: J. Cortés. (ed.) *Latin American coral reefs*. Amsterdam, Elsevier Science.
- Linn L.J., Delaney M.L. & Druffel E.R.M. 1990 Trace metals in contemporary and seventeenth-century Galapagos coral: records of seasonal and annual variations. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 54:387-394.
- Ma T.H.Y. 1933. On the seasonal change of growth in some Paleozoic corals. *Proc. Imp.Acad. IX* 8, p. 407.
- Ma T.Y.H. 1937. On the growth rate of reef corals and its relation to seawater temperature. *Palaeontol. Sinica*. XVI Ser. B, 426 pp.
- Martin L., Flexor, J.M. Vilas Boas G.S., Bittencourt A.C.S.P. & Guimarães M.M.M. 1979. Courbe de variations du niveau relatif de la mer au cours des 7000 dernières années sur un secteur homogène du littoral brésilien (nord de Salvador-Bahia). In: Proc. Int. Symp. Coastal Evol. Quaternary, São Paulo, Brasil p. 264-274.
- McConnaughey T. 1989. ^{13}C and ^{18}O isotopic disequilibrium in biological carbonates: I. patterns. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 53:151-162.
- McCulloch M.T., Gagan M.K., Mortimer G.E., Chivas A.R. & Isdale P.J. 1994. A high-resolution Sr/Ca and $\delta^{18}\text{O}$ coral record from the Great Barrier Reef, Australia, and the 1982-1983 El Niño. *Geochem. Cosmochim. Acta*, :2747-2754.
- McCulloch M.T., Tudhope A.W., Esat T.M., Mortimer G.E., Chappell J., Pillans B., Chivas A.R. & Omura A., 1999. Coral record of equatorial sea-surface temperature during the penultimate deglaciation at Huon Peninsula; *Science* 283:202-204.
- Min G.R., Edwards R.L., Taylor F.W., Recy J., Gallup C.D. & Beck J.W. 1995. Annual cycles of U/Ca in coral skeletons and U/Ca thermometry. *Geochim. Cosmochim. Acta* 59, 2025-2042
- Mitsuguchi, T., Matsumoto, E., Abe, O., Uchida, T. & Isdale, P.J. 1996. Mg/Ca Thermometry in Coral Skeletons. *Science*, 274:961-963.
- Mitsuguchi T. 2000. Reconstruction of Palaeoceanic Environment from Multi-elemental Analysis of Annually-banded Coral Skeletons, PhD Thesis, Institute for Hydrospheric-Atmospheric Sciences, Nagoya University, Japan.
- Mitsuguchi T., Matsumoto E. & Uchida T. 2003. Mg/Ca and Sr/Ca ratios of Porites coral skeletons: Evaluation of the effect of skeletal growth rate. *Coral Reefs*, 22:381-388.
- Neuman A.C. & Macintyre I.G. 1985. Reef response to sea level rise: keep-up, catch-up or give-up. In: Proc. 5th Int. Coral Reef Congr., Tahiti 3:105-110.
- Nozaki Y., Rye D.M., Turekian K.K. & Dodge R.E., 1978. A 200 year record of carbon-13 and carbon-14 variations in a Bermuda coral. *Geophys. Res. Lett.*, 5: 825-828.
- Oliveira M.D.M. 2007. Efeito do aquecimento global sobre a extensão linear, densidade e taxa de calcificação do esqueleto do coral *Mussismilia braziliensis* Verrill 1868, no último século (Abrolhos, Bahia). Tese de Doutorado, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 161 pp.
- Oomori T., Kaneshima K., Nakamura Y., & Kitano Y. 1982. Seasonal variation of minor elements in coral skeletons. *Galaxea* 1:77-86.
- Patzold J. 1984. Growth Rhythms Recorded in Stable Isotopes and Density Bands in the Reef Coral *Porites lobata* (Cebu, Philippines). *Coral Reefs*, 3:87-90.
- Pilson M. 1998. *An Introduction of the Chemistry of the Sea*, Prentice-Hall, Upper Saddle River, N.J.
- Quinn T.M., Taylor F.W. & T.J. Crowley, 1993. A 173 year stable isotope record from a tropical south Pacific coral. *Quat. Sci. Rev.*, 12: 407-418.
- Quinn T.M., Crowley T.J. & Taylor F.W., 1996. New stable isotope results from a 173-year coral from Espiritu Santo, Vanuatu. *Geophys. Res. Lett.*, 23:3413-3416.
- Rind D. & Peteet D. 1985. Terrestrial conditions at the last glacial maximum and CLIMAP sea-surface temperature estimates: Are they consistent? *Quaternary Res.*, 24:1-22.
- Rogers C.S. 1990. Responses of coral reefs and reef organisms to sedimentation. *Marine Ecology Progress Series*, 62:185-202.
- Ruppert, E. E., Fox R.S. Barnes, R. D., 2005. *Zoologia dos Invertebrados*, Sétima Edição, Roca, São Paulo, 1145 pp. Saenger, C., Cohen A. L., Oppo D. W. & Hubbard D. 2008. Interpreting sea surface temperature from strontium/calcium ratios in *Montastrea* corals: Link with growth rate and implications for proxy reconstructions, *Paleoceanography*, 23, PA3102, doi:10.1029/2007PA001572.
- Schneider R.C. & S.V. Smith, 1982. Skeletal Sr content and density in *Porites* spp. in relation to environmental factors. *Mar. Biol.*, 66:121-131.

- Scoffin T.P., Tudhope A.W. & Brown B.E. 1989. Fluorescent and skeletal banding in *Porites lutea* from Papua New Guinea and Indonesia. *Coral Reefs*, 7:169-178.
- Scoffin T.P., Tudhope A.W., Brown B.E., Chansang H. & Cheeney R.F. 1992. Environmental controls on skeletogenesis of *Porites lutea*, South Thailand. *Coral Reefs*, 11: 1-13.
- Shen G.T., Boyle E.A. & Lea D.W. 1987. Cadmium in corals as tracer of historical upwelling and industrial fallout. *Nature*, 328:794-796.
- Shen G.T. & C.L. Sanford, 1990. Trace element indicators of climate variability in reef-building corals. In: Global Ecological Consequences of the 1982-83 El Niño-Southern Oscillation, P.W. Glynn (ed.), Elsevier Oceanography Series, 52:255-283.
- Shen G.T., Campbell T.M., Dunbar R.B., Wellington G.M., Colgan M.W. & Glynn P.W. 1991. Paleochemistry of manganese in corals from the Galapagos Islands. *Coral Reefs*, 10:91-100.
- Shen G.T., Cole J.E., Lea D.W., Linn L.J., McConnaughey T.A. & Fairbanks R.G. 1992. Surface ocean variability at Galapagos from 1936-1982: calibration of geochemical tracers in corals. *Paleoceanography*, 7:563-588.
- Shen G.T. & Dunbar R.B. 1995. Environmental controls on uranium in reef corals. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 59:2009-2024.
- Shen C.C., Lee T., Chen C.Y., Wang C.H., Dai C.F. & Li L.A. 1996. The calibration of D[Sr/Ca] versus sea surface temperature relationship for *Porites* corals. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 60:3849-3858.
- Sinclair D.J., Kinsley L.P.J. & McCulloch M.T. 1998. High resolution analysis of trace elements in corals by laser ablation ICP-MS. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 62:1889-1901.
- Smith, S.V., Buddemeier R.W., Redalje R.C. & Houck J.E. 1979. Strontium-calcium thermometry in coral skeletons. *Science*, 204:404-407.
- Smith J.M., Quinn T.M., Kevin P.H. & Hally R.B. 2006. Reproducibility of geochemical and climate signals in the Atlantic coral *Montastraea faveolata*, *Paleoceanography*, Vol.21, PA1010, doi:10.1029/2005PA001187.
- Stearn C.W., Scoffin T.P. & Martindale W. 1977. Calcium carbonate budget of a fringing reef on the west coast of Barbados. Part I-zonation and productivity. *Bull. Mar. Sci.*, 27:479-510.
- Susic M., Boto K. & Isdale P. 1991. Fluorescent humic acid bands in coral skeletons originate from terrestrial runoff. *Mar. Chem.*, 33:91-104.
- Swart P.K. & Leder J. J. 1996. The utility of stable isotopic signatures in coral skeletons. *Paleontological Society Papers*, 1:249-291.
- Taylor R.B., Barnes D.J. & Lough J.M. 1993. Simple models of density band formation in massive corals. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 167:109-125.
- Thompson L.G., Mosley-Thompson E., Davis M.E., Lin P.-N., Henderson K.A., Cole-Dai J., Bolzan J.F. & Liu K.-b. 1995. Late glacial stage and Holocene tropical ice core records from Huascarán, Peru. *Science*, 269:46-50.
- Tomascik T., Sander F. 1985. Effects of eutrofication on reef-building corals. I. Growth rate of the reef-building coral *Montastrea annularis*. *Marine Biology*, 87:143-155.
- Weber J.N. 1973. Incorporation of strontium into reef coral skeletal carbonate. *Geochem. Cosmochim. Acta*, 37:2173-2190.
- Weber J.N. 1974. Skeletal chemistry of scleractinian reef corals: uptake of magnesium from seawater. *Am. J. Sci.*, 274:84-93.
- Weber J.N. & Woodhead P.M.J. 1970. Carbon and oxygen isotope fractionation in the skeletal carbonate of reef-building corals. *Chem. Geol.*, 6:93-117.
- Wellington G.M. & Dunbar R.B. 1995. Stable isotopic signature of El Niño-Southern Oscillation events in eastern tropical Pacific reef corals. *Coral Reefs*, 14:5-25.
- Wells, J.W. 1963. Coral Growth and Geochronometry, *Nature*, 197:948-950

APÊNDICE 1 - Médias MENS AIS de TSM, Satélite Pathfinder NOAA, Version 5

Dia_jul	Ano	Mes	Dia	Data	SST	Clim	SSTA	Std	SSTAnorm	SOI
2446081	1985	1	15	jan/85	NaN	26,34	NaN	0,54		
2446112	1985	2	15	fev/85	26,49	26,81	-0,32	0,34	-0,94	-0,7
2446140	1985	3	15	mar/85	26,83	27,17	-0,34	0,54	-0,63	1,7
2446171	1985	4	15	abr/85	27,26	27,28	-0,02	0,3	-0,07	0,3
2446201	1985	5	15	mai/85	26,36	26,55	-0,19	0,56	-0,34	1,7
2446232	1985	6	15	jun/85	25,33	25,39	-0,06	0,41	-0,15	0,3
2446262	1985	7	15	jul/85	25,09	24,62	0,47	0,45	1,04	-1,5
2446293	1985	8	15	ago/85	23,79	24,21	-0,41	0,49	-0,84	-0,4
2446324	1985	9	15	set/85	24,02	24,52	-0,51	0,45	-1,13	1,1
2446354	1985	10	15	out/85	24,54	25,14	-0,6	0,51	-1,18	-0,1
2446385	1985	11	15	nov/85	25,41	25,71	-0,3	0,64	-0,47	-1,2
2446415	1985	12	15	dez/85	26,16	25,99	0,17	0,47	0,36	-0,5
2446446	1986	1	15	jan/86	26,25	26,34	-0,09	0,54	-0,17	0,2
2446477	1986	2	15	fev/86	27,06	26,81	0,24	0,34	0,71	1,5
2446505	1986	3	15	mar/86	27,52	27,17	0,36	0,54	0,67	-2,7
2446536	1986	4	15	abr/86	27,3	27,28	0,02	0,3	0,07	-0,1
2446566	1986	5	15	mai/86	26,87	26,55	0,32	0,56	0,57	0,1
2446597	1986	6	15	jun/86	25,14	25,39	-0,24	0,41	-0,59	-0,9
2446627	1986	7	15	jul/86	23,81	24,62	-0,81	0,45	-1,80	1,1
2446658	1986	8	15	ago/86	24,38	24,21	0,17	0,49	0,35	0,2
2446689	1986	9	15	set/86	24,02	24,52	-0,51	0,45	-1,13	-1,6
2446719	1986	10	15	out/86	24,69	25,14	-0,45	0,51	-0,88	-1,0
2446750	1986	11	15	nov/86	25,01	25,71	-0,69	0,64	-1,08	0,9
2446780	1986	12	15	dez/86	25,35	25,99	-0,64	0,47	-1,36	-2,5
2446811	1987	1	15	jan/87	26,12	26,34	-0,23	0,54	-0,43	-3,0
2446842	1987	2	15	fev/87	26,66	26,81	-0,15	0,34	-0,44	-1,5
2446870	1987	3	15	mar/87	27,79	27,17	0,62	0,54	1,15	-3,1
2446901	1987	4	15	abr/87	27,15	27,28	-0,13	0,3	-0,43	-3,3
2446931	1987	5	15	mai/87	27,09	26,55	0,54	0,56	0,96	-3,0
2446962	1987	6	15	jun/87	25,74	25,39	0,36	0,41	0,88	-2,8
2446992	1987	7	15	jul/87	25,11	24,62	0,49	0,45	1,09	-2,8
2447023	1987	8	15	ago/87	24,71	24,21	0,51	0,49	1,04	-2,8
2447054	1987	9	15	set/87	24,92	24,52	0,39	0,45	0,87	-2,5
2447084	1987	10	15	out/87	25,88	25,14	0,73	0,51	1,43	-1,9
2447115	1987	11	15	nov/87	25,42	25,71	-0,28	0,64	-0,44	-1,1
2447145	1987	12	15	dez/87	25,5	25,99	-0,49	0,47	-1,04	-0,2
2447176	1988	1	15	jan/88	26,7	26,34	0,36	0,54	0,67	-1,2
2447207	1988	2	15	fev/88	26,92	26,81	0,11	0,34	0,32	-0,3
2447236	1988	3	15	mar/88	27,64	27,17	0,47	0,54	0,87	-1,4

APÊNDICE 1 - Médias MENSAIS de TSM, Satélite Pathfinder NOAA, Version 5 (Cont)

2447267	1988	4	15	abr/88	27,77	27,28	0,49	0,3	1,63	0,1
2447297	1988	5	15	mai/88	27,67	26,55	1,13	0,56	2,02	-0,1
2447328	1988	6	15	jun/88	25,33	25,39	-0,06	0,41	-0,15	1,3
2447358	1988	7	15	jul/88	24,62	24,62	0	0,45	0,00	-0,4
2447389	1988	8	15	ago/88	22,93	24,21	-1,27	0,49	-2,59	1,7
2447420	1988	9	15	set/88	24,54	24,52	0,02	0,45	0,04	2,2
2447450	1988	10	15	out/88	25,91	25,14	0,77	0,51	1,51	3,4
2447481	1988	11	15	nov/88	26,61	25,71	0,9	0,64	1,41	2,2
2447511	1988	12	15	dez/88	26,16	25,99	0,17	0,47	0,36	3,0
2447542	1989	1	15	jan/89	26,87	26,34	0,52	0,54	0,96	2,1
2447573	1989	2	15	fev/89	27,04	26,81	0,23	0,34	0,68	2,7
2447601	1989	3	15	mar/89	26,91	27,17	-0,26	0,54	-0,48	1,8
2447632	1989	4	15	abr/89	27,38	27,28	0,09	0,3	0,30	1,0
2447662	1989	5	15	mai/89	26,46	26,55	-0,09	0,56	-0,16	2,6
2447693	1989	6	15	jun/89	25,35	25,39	-0,04	0,41	-0,10	1,9
2447723	1989	7	15	jul/89	23,53	24,62	-1,09	0,45	-2,42	0,8
2447754	1989	8	15	ago/89	24	24,21	-0,21	0,49	-0,43	1,4
2447785	1989	9	15	set/89	24,47	24,52	-0,06	0,45	-0,13	-1,3
2447815	1989	10	15	out/89	24,96	25,14	-0,19	0,51	-0,37	0,9
2447846	1989	11	15	nov/89	25,95	25,71	0,24	0,64	0,38	1,0
2447876	1989	12	15	dez/89	26,02	25,99	0,04	0,47	0,09	-0,6
2447907	1990	1	15	jan/90	25,22	26,34	-1,13	0,54	-2,09	-1,2
2447938	1990	2	15	fev/90	26,31	26,81	-0,51	0,34	-1,50	-0,4
2447966	1990	3	15	mar/90	27,02	27,17	-0,15	0,54	-0,28	-3,9
2447997	1990	4	15	abr/90	27,11	27,28	-0,17	0,3	-0,57	-1,9
2448027	1990	5	15	mai/90	26,32	26,55	-0,22	0,56	-0,39	-0,1
2448058	1990	6	15	jun/90	26,01	25,39	0,62	0,41	1,51	1,8
2448088	1990	7	15	jul/90	25,05	24,62	0,43	0,45	0,96	-0,1
2448119	1990	8	15	ago/90	24,32	24,21	0,11	0,49	0,22	0,8
2448150	1990	9	15	set/90	24,38	24,52	-0,15	0,45	-0,33	-1,0
2448180	1990	10	15	out/90	24,86	25,14	-0,28	0,51	-0,55	-1,3
2448211	1990	11	15	nov/90	25,5	25,71	-0,21	0,64	-0,33	0,1
2448241	1990	12	15	dez/90	26,63	25,99	0,64	0,47	1,36	-1,1
2448272	1991	1	15	jan/91	26,38	26,34	0,04	0,54	0,07	-0,7
2448303	1991	2	15	fev/91	26,81	26,81	0	0,34	0,00	1,0
2448331	1991	3	15	mar/91	27,07	27,17	-0,09	0,54	-0,17	-0,1
2448362	1991	4	15	abr/91	27,34	27,28	0,06	0,3	0,20	-2,2
2448392	1991	5	15	mai/91	25,46	26,55	-1,09	0,56	-1,95	-1,7
2448423	1991	6	15	jun/91	25,44	25,39	0,06	0,41	0,15	-2,4
2448453	1991	7	15	jul/91	24,6	24,62	-0,02	0,45	-0,04	-0,9

APÊNDICE 1 - Médias MENSAS de TSM, Satélite Pathfinder NOAA, Version 5 (Cont)

2448484	1991	8	15	ago/91	23,55	24,21	-0,66	0,49	-1,35	-0,2
2448515	1991	9	15	set/91	23,16	24,52	-1,37	0,45	-3,04	-1,4
2448545	1991	10	15	out/91	24,43	25,14	-0,71	0,51	-1,39	-2,9
2448576	1991	11	15	nov/91	24,75	25,71	-0,96	0,64	-1,50	-2,4
2448606	1991	12	15	dez/91	25,42	25,99	-0,56	0,47	-1,19	-1,4
2448637	1992	1	15	jan/92	25,61	26,34	-0,73	0,54	-1,35	-3,7
2448668	1992	2	15	fev/92	26,1	26,81	-0,71	0,34	-2,09	-5,6
2448697	1992	3	15	mar/92	26,53	27,17	-0,64	0,54	-1,19	-2,3
2448728	1992	4	15	abr/92	27,32	27,28	0,04	0,3	0,13	-4,8
2448758	1992	5	15	mai/92	25,99	26,55	-0,56	0,56	-1,00	-2,3
2448789	1992	6	15	jun/92	25,14	25,39	-0,24	0,41	-0,59	0,1
2448819	1992	7	15	jul/92	24,24	24,62	-0,37	0,45	-0,82	-1,9
2448850	1992	8	15	ago/92	24,3	24,21	0,09	0,49	0,18	-1,3
2448881	1992	9	15	set/92	24,58	24,52	0,06	0,45	0,13	0,0
2448911	1992	10	15	out/92	25,54	25,14	0,39	0,51	0,76	0,0
2448942	1992	11	15	nov/92	24,69	25,71	-1,01	0,64	-1,58	-3,2
2448972	1992	12	15	dez/92	25,54	25,99	-0,45	0,47	-0,96	-1,4
2449003	1993	1	15	jan/93	25,76	26,34	-0,58	0,54	-1,07	-1,4
2449034	1993	2	15	fev/93	26,76	26,81	-0,06	0,34	-0,18	-2,0
2449062	1993	3	15	mar/93	26,81	27,17	-0,36	0,54	-0,67	-2,1
2449093	1993	4	15	abr/93	26,83	27,28	-0,45	0,3	-1,50	-1,8
2449123	1993	5	15	mai/93	26,66	26,55	0,11	0,56	0,20	-2,6
2449154	1993	6	15	jun/93	24,88	25,39	-0,51	0,41	-1,24	-1,0
2449184	1993	7	15	jul/93	24,84	24,62	0,23	0,45	0,51	-2,2
2449215	1993	8	15	ago/93	24,3	24,21	0,09	0,49	0,18	-1,8
2449246	1993	9	15	set/93	24,64	24,52	0,11	0,45	0,24	-2,4
2449276	1993	10	15	out/93	25,03	25,14	-0,11	0,51	-0,22	-1,3
2449307	1993	11	15	nov/93	25,69	25,71	-0,02	0,64	-0,03	-2,5
2449337	1993	12	15	dez/93	25,69	25,99	-0,3	0,47	-0,64	-0,3
2449368	1994	1	15	jan/94	27,15	26,34	0,81	0,54	1,50	0,1
2449399	1994	2	15	fev/94	26,96	26,81	0,15	0,34	0,44	-0,5
2449427	1994	3	15	mar/94	26,98	27,17	-0,19	0,54	-0,35	-0,1
2449458	1994	4	15	abr/94	26,79	27,28	-0,49	0,3	-1,63	-2,2
2449488	1994	5	15	mai/94	26,63	26,55	0,08	0,56	0,14	-2,9
2449519	1994	6	15	jun/94	25,78	25,39	0,39	0,41	0,95	-1,7
2449549	1994	7	15	jul/94	24,67	24,62	0,06	0,45	0,13	-1,5
2449580	1994	8	15	ago/94	23,98	24,21	-0,22	0,49	-0,45	-2,9
2449611	1994	9	15	set/94	24,58	24,52	0,06	0,45	0,13	-3,0
2449641	1994	10	15	out/94	24,92	25,14	-0,23	0,51	-0,45	-3,0
2449672	1994	11	15	nov/94	25,95	25,71	0,24	0,64	0,38	-2,6

APÊNDICE 1 - Médias MENSAS de TSM, Satélite Pathfinder NOAA, Version 5 (Cont)

2449702	1994	12	15	dez/94	25,5	25,99	-0,49	0,47	-1,04	-1,2
2449733	1995	1	15	jan/95	26,47	26,34	0,13	0,54	0,24	-2,6
2449764	1995	2	15	fev/95	27,34	26,81	0,53	0,34	1,56	-1,0
2449792	1995	3	15	mar/95	27,92	27,17	0,75	0,54	1,39	-0,8
2449823	1995	4	15	abr/95	27,47	27,28	0,19	0,3	0,63	0,4
2449853	1995	5	15	mai/95	27,06	26,55	0,51	0,56	0,91	-1,8
2449884	1995	6	15	jun/95	26,21	25,39	0,82	0,41	2,00	-1,2
2449914	1995	7	15	jul/95	25,2	24,62	0,58	0,45	1,29	-0,4
2449945	1995	8	15	ago/95	24,9	24,21	0,69	0,49	1,41	0,6
2449976	1995	9	15	set/95	24,94	24,52	0,41	0,45	0,91	-0,1
2450006	1995	10	15	out/95	25,31	25,14	0,17	0,51	0,33	0,5
2450037	1995	11	15	nov/95	26,23	25,71	0,53	0,64	0,83	-0,4
2450067	1995	12	15	dez/95	26,57	25,99	0,58	0,47	1,23	0,0
2450098	1996	1	15	jan/96	26,74	26,34	0,39	0,54	0,72	-1,4
2450129	1996	2	15	fev/96	27,13	26,81	0,32	0,34	0,94	1,7
2450158	1996	3	15	mar/96	27,92	27,17	0,75	0,54	1,39	-0,2
2450189	1996	4	15	abr/96	27,58	27,28	0,3	0,3	1,00	1,2
2450219	1996	5	15	mai/96	26,38	26,55	-0,17	0,56	-0,30	1,1
2450250	1996	6	15	jun/96	24,84	25,39	-0,54	0,41	-1,32	0,2
2450280	1996	7	15	jul/96	24,45	24,62	-0,17	0,45	-0,38	1,6
2450311	1996	8	15	ago/96	24	24,21	-0,21	0,49	-0,43	1,0
2450342	1996	9	15	set/96	24,45	24,52	-0,07	0,45	-0,16	0,7
2450372	1996	10	15	out/96	25,67	25,14	0,52	0,51	1,02	1,0
2450403	1996	11	15	nov/96	21,64	25,71	-4,07	0,64	-6,36	0,7
2450433	1996	12	15	dez/96	26,12	25,99	0,13	0,47	0,28	-0,3
2450464	1997	1	15	jan/97	26,01	26,34	-0,34	0,54	-0,63	1,6
2450495	1997	2	15	fev/97	26,76	26,81	-0,06	0,34	-0,18	0,8
2450523	1997	3	15	mar/97	25,74	27,17	-1,42	0,54	-2,63	2,6
2450554	1997	4	15	abr/97	26,87	27,28	-0,41	0,3	-1,37	-1,9
2450584	1997	5	15	mai/97	25,71	26,55	-0,84	0,56	-1,50	-1,4
2450615	1997	6	15	jun/97	24,64	25,39	-0,75	0,41	-1,83	-3,0
2450645	1997	7	15	jul/97	24,64	24,62	0,02	0,45	0,04	-3,2
2450676	1997	8	15	ago/97	24,06	24,21	-0,15	0,49	-0,31	-1,7
2450707	1997	9	15	set/97	24,73	24,52	0,21	0,45	0,47	-3,4
2450737	1997	10	15	out/97	25,48	25,14	0,34	0,51	0,67	-2,6
2450768	1997	11	15	nov/97	26,27	25,71	0,56	0,64	0,88	-3,1
2450798	1997	12	15	dez/97	26,96	25,99	0,97	0,47	2,06	-2,3
2450829	1998	1	15	jan/98	27,32	26,34	0,97	0,54	1,80	-2,0
2450860	1998	2	15	fev/98	26,85	26,81	0,04	0,34	0,12	-5,4
2450888	1998	3	15	mar/98	27,36	27,17	0,19	0,54	0,35	-4,4

APÊNDICE 1 - Médias MENSAS de TSM, Satélite Pathfinder NOAA, Version 5 (Cont)

2450919	1998	4	15	abr/98	27,84	27,28	0,56	0,3	1,87	-5,7
2450949	1998	5	15	mai/98	27,06	26,55	0,51	0,56	0,91	-3,2
2450980	1998	6	15	jun/98	25,26	25,39	-0,13	0,41	-0,32	0,1
2451010	1998	7	15	jul/98	24,52	24,62	-0,09	0,45	-0,20	1,2
2451041	1998	8	15	ago/98	24,75	24,21	0,54	0,49	1,10	2,0
2451072	1998	9	15	set/98	25,16	24,52	0,64	0,45	1,42	1,6
2451102	1998	10	15	out/98	25,88	25,14	0,73	0,51	1,43	2,0
2451133	1998	11	15	nov/98	26,08	25,71	0,38	0,64	0,59	1,6
2451163	1998	12	15	dez/98	25,52	25,99	-0,47	0,47	-1,00	1,7
2451194	1999	1	15	jan/99	26,36	26,34	0,02	0,54	0,04	2,3
2451225	1999	2	15	fev/99	26,66	26,81	-0,15	0,34	-0,44	3,2
2451253	1999	3	15	mar/99	27,09	27,17	-0,07	0,54	-0,13	1,2
2451284	1999	4	15	abr/99	27,51	27,28	0,23	0,3	0,77	1,4
2451314	1999	5	15	mai/99	26,47	26,55	-0,08	0,56	-0,14	2,2
2451345	1999	6	15	jun/99	25,35	25,39	-0,04	0,41	-0,10	0,1
2451375	1999	7	15	jul/99	24,82	24,62	0,21	0,45	0,47	-0,1
2451406	1999	8	15	ago/99	24,24	24,21	0,04	0,49	0,08	0,8
2451437	1999	9	15	set/99	24,56	24,52	0,04	0,45	0,09	0,1
2451467	1999	10	15	out/99	24,51	25,14	-0,64	0,51	-1,25	-0,1
2451498	1999	11	15	nov/99	24,92	25,71	-0,79	0,64	-1,23	1,5
2451528	1999	12	15	dez/99	25,88	25,99	-0,11	0,47	-0,23	1,8
2451559	2000	1	15	jan/00	25,69	26,34	-0,66	0,54	-1,22	2,4
2451590	2000	2	15	fev/00	27,28	26,81	0,47	0,34	1,38	1,1
2451619	2000	3	15	mar/00	27,51	27,17	0,34	0,54	0,63	2,6
2451650	2000	4	15	abr/00	27,19	27,28	-0,09	0,3	-0,30	1,6
2451680	2000	5	15	mai/00	26,34	26,55	-0,21	0,56	-0,38	1,9
2451711	2000	6	15	jun/00	25,5	25,39	0,11	0,41	0,27	0,3
2451741	2000	7	15	jul/00	24,45	24,62	-0,17	0,45	-0,38	-1,0
2451772	2000	8	15	ago/00	24,17	24,21	-0,04	0,49	-0,08	-0,7
2451803	2000	9	15	set/00	24,64	24,52	0,11	0,45	0,24	0,6
2451833	2000	10	15	out/00	25,33	25,14	0,19	0,51	0,37	1,7
2451864	2000	11	15	nov/00	26,47	25,71	0,77	0,64	1,20	1,6
2451894	2000	12	15	dez/00	26,23	25,99	0,24	0,47	0,51	3,3
2451925	2001	1	15	jan/01	26,55	26,34	0,21	0,54	0,39	1,1
2451956	2001	2	15	fev/01	26,64	26,81	-0,17	0,34	-0,50	1,8
2451984	2001	3	15	mar/01	27,39	27,17	0,22	0,54	0,41	2,4
2452015	2001	4	15	abr/01	27,17	27,28	-0,11	0,3	-0,37	0,8
2452045	2001	5	15	mai/01	26,77	26,55	0,23	0,56	0,41	-0,1
2452076	2001	6	15	jun/01	25,73	25,39	0,34	0,41	0,83	-1,4
2452106	2001	7	15	jul/01	24,9	24,62	0,28	0,45	0,62	-0,1

APÊNDICE 1 - Médias MENSAS de TSM, Satélite Pathfinder NOAA, Version 5 (Cont)

2452137	2001	8	15	ago/01	24,98	24,21	0,77	0,49	1,57	-0,7
2452168	2001	9	15	set/01	24,66	24,52	0,13	0,45	0,29	-1,6
2452198	2001	10	15	out/01	24,77	25,14	-0,38	0,51	-0,75	0,3
2452229	2001	11	15	nov/01	25,69	25,71	-0,02	0,64	-0,03	-0,6
2452259	2001	12	15	dez/01	25,95	25,99	-0,04	0,47	-0,09	1,2
2452290	2002	1	15	jan/02	25,89	26,34	-0,45	0,54	-0,83	-1,9
2452321	2002	2	15	fev/02	25,8	26,81	-1,01	0,34	-2,97	0,7
2452349	2002	3	15	mar/02	26,91	27,17	-0,26	0,54	-0,48	1,5
2452380	2002	4	15	abr/02	27,26	27,28	-0,02	0,3	-0,07	-1,4
2452410	2002	5	15	mai/02	27,13	26,55	0,58	0,56	1,04	-0,6
2452441	2002	6	15	jun/02	25,69	25,39	0,3	0,41	0,73	-2,0
2452471	2002	7	15	jul/02	25,41	24,62	0,79	0,45	1,76	-1,1
2452502	2002	8	15	ago/02	25,09	24,21	0,88	0,49	1,80	-1,1
2452533	2002	9	15	set/02	24,67	24,52	0,15	0,45	0,33	-2,6
2452563	2002	10	15	out/02	24,64	25,14	-0,51	0,51	-1,00	-1,1
2452594	2002	11	15	nov/02	25,2	25,71	-0,51	0,64	-0,80	-1,2
2452624	2002	12	15	dez/02	25,5	25,99	-0,49	0,47	-1,04	-1,0
2452655	2003	1	15	jan/03	26,7	26,34	0,36	0,54	0,67	-2,4
2452686	2003	2	15	fev/03	27,51	26,81	0,69	0,34	2,03	-0,6
2452714	2003	3	15	mar/03	27,71	27,17	0,54	0,54	1,00	-2,0
2452745	2003	4	15	abr/03	28,13	27,28	0,84	0,3	2,80	-1,6
2452775	2003	5	15	mai/03	27,39	26,55	0,84	0,56	1,50	-0,7
2452806	2003	6	15	jun/03	26,34	25,39	0,96	0,41	2,34	-1,0
2452836	2003	7	15	jul/03	25,48	24,62	0,86	0,45	1,91	-1,9
2452867	2003	8	15	ago/03	24,84	24,21	0,64	0,49	1,31	0,4

APÊNDICE 1 - Médias MENSAS de TSM, Satélite Pathfinder NOAA, Version 5 (Cont)

2452898	2003	9	15	set/03	25,31	24,52	0,79	0,45	1,76	-0,5
2452928	2003	10	15	out/03	25,35	25,14	0,21	0,51	0,41	-0,2
2452959	2003	11	15	nov/03	26,19	25,71	0,49	0,64	0,77	-0,5
2452989	2003	12	15	dez/03	26,1	25,99	0,11	0,47	0,23	-0,7
2453020	2004	1	15	jan/04	27	26,34	0,66	0,54	1,22	1,8
2453051	2004	2	15	fev/04	27,52	26,81	0,71	0,34	2,09	-2,8
2453080	2004	3	15	mar/04	27,47	27,17	0,3	0,54	0,56	1,8
2453111	2004	4	15	abr/04	27,26	27,28	-0,02	0,3	-0,07	-0,3
2453141	2004	5	15	mai/04	26,16	26,55	-0,39	0,56	-0,70	-2,1
2453172	2004	6	15	jun/04	25,89	25,39	0,51	0,41	1,24	1,5
2453202	2004	7	15	jul/04	24,3	24,62	-0,32	0,45	-0,71	-2,2
2453233	2004	8	15	ago/04	23,85	24,21	-0,36	0,49	-0,73	-1,2
2453264	2004	9	15	set/04	25,03	24,52	0,51	0,45	1,13	-1,2
2453294	2004	10	15	out/04	25,72	25,14	0,58	0,51	1,14	-0,6
2453325	2004	11	15	nov/04	25,95	25,71	0,24	0,64	0,38	-0,5
2453355	2004	12	15	dez/04	26,46	25,99	0,47	0,47	1,00	-1,4
2453386	2005	1	15	jan/05	26,61	26,34	0,26	0,54	0,48	-1,8
2453417	2005	2	15	fev/05	27,22	26,81	0,41	0,34	1,21	0,4
2453445	2005	3	15	mar/05	27,52	27,17	0,36	0,54	0,67	-6,7
2453476	2005	4	15	abr/05	28,22	27,28	0,94	0,3	3,13	-0,4
2453506	2005	5	15	mai/05	26,89	26,55	0,34	0,56	0,61	-1,6
2453537	2005	6	15	jun/05	25,88	25,39	0,49	0,41	1,20	-1,9
2453567	2005	7	15	jul/05	24,94	24,62	0,32	0,45	0,71	0,1
2453598	2005	8	15	ago/05	24,75	24,21	0,54	0,49	1,10	0,1
2453629	2005	9	15	set/05	25,07	24,52	0,54	0,45	1,20	-1,3
2453659	2005	10	15	out/05	25,54	25,14	0,39	0,51	0,76	0,7
2453690	2005	11	15	nov/05	25,89	25,71	0,19	0,64	0,30	1,9
2453720	2005	12	15	dez/05	25,8	25,99	-0,19	0,47	-0,40	-0,5

APÊNDICE 2

Leituras das razões geoquímicas encontradas no testemunho CLE, Estudo Piloto, ICP-OES

RESULTADOS DO LOTE PILOTO PARA CORAIS

LOTE	N Lab	AMOSTRA	Espessura (mm)	Distância do topo	Sr (µg/mL)	Sr (%)	Ba (µg/mL)	Ba (%)	Mg (µg/mL)	Mg (%)	Ca (µg/mL)	CaCO ₃ (%)	TOTAL
110	1	1	0,55	0,55	4961	0,50	8	0,0008	1569	0,157	379567	94,79	95,44
110	1A	1	0,55	0,55	5243	0,52	8	0,0008	1616	0,162	391534	97,78	98,46
107	2	2	0,75	1,30	5104	0,51	11	0,0011	875	0,087	403275	100,71	101,31
107	2A	2	0,75	1,30	4985	0,50	6	0,0006	829	0,083	392045	97,91	98,49
107	3	3	0,90	2,20	5099	0,51	4	0,0004	1216	0,122	394698	98,57	99,20
107	3A	3	0,90	2,20	5029	0,50	3	0,0003	1159	0,116	398273	99,46	100,08
107	4	4	0,60	2,80	5265	0,53	3	0,0003	910	0,091	395898	98,87	99,49
107	4A	4	0,60	2,80	5217	0,52	3	0,0003	960	0,096	392718	98,07	98,69
107	5	5	0,70	3,50	5212	0,52	4	0,0004	823	0,082	393098	98,17	98,77
107	5A	5	0,70	3,50	5307	0,53	4	0,0004	853	0,085	394283	98,46	99,08
107	6	6	0,75	4,25	4842	0,48	4	0,0004	873	0,087	386455	96,51	97,08
107	6A	6	0,75	4,25	5100	0,51	3	0,0003	907	0,091	399540	99,78	100,38
107	7	7	0,90	5,15	5121	0,51	3	0,0003	1045	0,105	386006	96,40	97,01
107	7A	7	0,90	5,15	5180	0,52	3	0,0003	1053	0,105	393933	98,38	99,00
110	8	8	0,55	5,70	5235	0,52	5	0,0005	965	0,097	391226	97,70	98,32
110	8A	8	0,55	5,70	5330	0,53	5	0,0005	974	0,097	395554	98,78	99,41
107	9	9	1,10	6,80	5135	0,51	3	0,0003	790	0,079	384090	95,92	96,51
107	9A	9	1,10	6,80	5239	0,52	3	0,0003	800	0,080	389985	97,39	98,00
107	10	10	1,25	8,05	5337	0,53	3	0,0003	897	0,090	390689	97,57	98,19
107	10A	10	1,25	8,05	5325	0,53	3	0,0003	914	0,091	387891	96,87	97,49
107	11	11	0,95	9,00	5337	0,53	3	0,0003	944	0,094	386463	96,51	97,14
107	11A	11	0,95	9,00	5372	0,54	3	0,0003	929	0,093	385106	96,17	96,80
110	12	12	0,65	9,65	5376	0,54	5	0,0005	1056	0,106	397016	99,15	99,79
110	12A	12	0,65	9,65	5297	0,53	5	0,0005	1038	0,104	393739	98,33	98,96
110	13	13	1,00	10,65	5554	0,56	6	0,0006	996	0,100	395758	98,83	99,49
107	14	14	1,10	11,75	5467	0,55	3	0,0003	907	0,091	397351	99,23	99,87
107	14A	14	1,10	11,75	5470	0,55	3	0,0003	890	0,089	389055	97,16	97,80
107	15	15	0,95	12,70	5395	0,54	3	0,0003	912	0,091	387468	96,76	97,39
107	15A	15	0,95	12,70	5429	0,54	3	0,0003	909	0,091	388328	96,98	97,61
110	16	16	0,70	13,40	5496	0,55	5	0,0005	921	0,092	394657	98,56	99,20
110	16A	16	0,70	13,40	5543	0,55	6	0,0006	917	0,092	390181	97,44	98,09
110	17	17	1,15	14,55	5508	0,55	6	0,0006	906	0,091	387555	96,78	97,43
110	17A	17	1,15	14,55	5591	0,56	6	0,0006	916	0,092	393553	98,28	98,93

APÊNDICE 3

Leituras das razões geoquímicas encontradas no testemunho CAB-2,

N Lab	AMOSTRA	Sr (µg/L)	Sr (%)	Ba (µg/L)	Mg (µg/L)	Mg (%)	Ca (µg/L)	Ca (%)
1	CAB2 - 01	4922	0,49	6	781	0,078	393350	98,23
2	CAB2 - 02	4928	0,49	4	746	0,075	390266	97,46
3	CAB2 - 03	4897	0,49	4	736	0,074	387145	96,68
4	CAB2 - 04	4767	0,48	4	747	0,075	391831	97,85
5	CAB2 - 05	5953	0,60	3	722	0,072	394021	98,40
6	CAB2 - 06	4553	0,46	3	744	0,074	391487	97,77
7	CAB2 - 07	4665	0,47	3	734	0,073	393736	98,33
8	CAB2 - 08	4660	0,47	4	738	0,074	395741	98,83
9	CAB2 - 09	4730	0,47	4	726	0,073	397347	99,23
10	CAB2 - 10	5151	0,52	4	751	0,075	398048	99,40
11	CAB2 - 11	4763	0,48	5	734	0,073	387913	96,87
12	CAB2 - 12	5022	0,50	4	730	0,073	395598	98,79
13	CAB2 - 13	5340	0,53	5	752	0,075	391358	97,73
14	CAB2 - 14	5465	0,55	4	772	0,077	397143	99,18
15	CAB2 - 15	4917	0,49	4	733	0,073	386832	96,60
16	CAB2 - 16	5098	0,51	4	741	0,074	392422	98,00
17	CAB2 - 17	5314	0,53	5	729	0,073	389272	97,21
18	CAB2 - 18	5423	0,54	4	724	0,072	389932	97,38
19	CAB2 - 19	5368	0,54	4	784	0,078	395099	98,67
20	CAB2 - 20	5383	0,54	5	715	0,072	392225	97,95
21	CAB2 - 21	5814	0,58	6	740	0,074	392830	98,10
22	CAB2 - 22	5975	0,60	5	726	0,073	390500	97,52
23	CAB2 - 23	5395	0,54	4	727	0,073	397485	99,26
24	CAB2 - 24	5522	0,55	5	818	0,082	391991	97,89
25	CAB2 - 25	5558	0,56	5	762	0,076	387113	96,67
26	CAB2 - 26	5817	0,58	6	882	0,088	391962	97,88
27	CAB2 - 27	5710	0,57	5	764	0,076	399389	99,74
28	CAB2 - 28	5351	0,54	5	757	0,076	387564	96,79
29	CAB2 - 29	5172	0,52	5	744	0,074	389622	97,30
30	CAB2 - 30	5688	0,57	6	731	0,073	400819	100,10
31	CAB2 - 31	4968	0,50	3	748	0,075	392993	98,14
32	CAB2 - 32	4959	0,50	3	762	0,076	385817	96,35
33	CAB2 - 33	5236	0,52	3	754	0,075	390857	97,61
34	CAB2 - 34	5330	0,53	3	762	0,076	398848	99,60
35	CAB2 - 35	5310	0,53	3	746	0,075	398749	99,58
36	CAB2 - 36	5112	0,51	3	728	0,073	397819	99,35
37	CAB2 - 37	5161	0,52	3	746	0,075	399404	99,74
38	CAB2 - 38	5173	0,52	3	729	0,073	380120	94,93
39	CAB2 - 39	5022	0,50	3	724	0,072	397847	99,35
40	CAB2 - 40	5075	0,51	3	713	0,071	396070	98,91
41	CAB2 - 41	5136	0,51	3	731	0,073	392177	97,94
42	CAB2 - 42	5259	0,53	4	739	0,074	389890	97,37
43	CAB2 - 43	5469	0,55	3	756	0,076	395756	98,83
44	CAB2 - 44	5180	0,52	4	727	0,073	394801	98,59
45	CAB2 - 45	5155	0,52	7	714	0,071	391195	97,69
46	CAB2 - 46	5254	0,53	3	740	0,074	399008	99,64
47	CAB2 - 47	5332	0,53	3	760	0,076	396754	99,08
48	CAB2 - 48	5366	0,54	9	737	0,074	394835	98,60
49	CAB2 - 49	5378	0,54	3	722	0,072	394057	98,41
50	CAB2 - 50	5239	0,52	3	772	0,077	398722	99,57

APÊNDICE 3 - Leituras das razões geoquímicas encontradas no testemunho
 ituras das razões geoquímicas **CAB-2, ICP-OES (Cont)** o CAB-2, ICP-OES

N Lab	AMOSTRA	Sr (µg/L)	Sr (%)	Ba (µg/L)	Mg (µg/L)	Mg (%)	Ca (µg/L)	Ca (%)
50	CAB2 - 50	5239	0,52	3	772	0,077	398722	99,57
51	CAB2 - 51	5190	0,52	3	756	0,076	395955	98,88
52	CAB2 - 52	5429	0,54	3	756	0,076	398395	99,49
53	CAB2 - 53	5251	0,53	3	781	0,078	391760	97,83
54	CAB2 - 54	5211	0,52	2	774	0,077	398722	99,57
55	CAB2 - 55	5187	0,52	2	773	0,077	385714	96,32
56	CAB2 - 56	7074	0,71	5	713	0,071	396667	99,06
57	CAB2 - 57	7208	0,72	4	713	0,071	394727	98,58
58	CAB2 - 58	7480	0,75	4	709	0,071	395075	98,66
59	CAB2 - 59	7170	0,72	4	726	0,073	399259	99,71
60	CAB2 - 60	6833	0,68	2	747	0,075	391030	97,65
61	CAB2 - 61	7221	0,72	3	730	0,073	397998	99,39
62	CAB2 - 62	7189	0,72	3	738	0,074	391727	97,83
63	CAB2 - 63	7451	0,75	3	738	0,074	390108	97,42
64	CAB2 - 64	7539	0,75	3	737	0,074	397653	99,31
65	CAB2 - 65	7146	0,71	3	721	0,072	390764	97,59
66	CAB2 - 66	7404	0,74	4	737	0,074	387347	96,73
67	CAB2 - 67	7733	0,77	3	749	0,075	390650	97,56
68	CAB2 - 68	7450	0,75	3	726	0,073	397782	99,34
69	CAB2 - 69	7648	0,76	3	723	0,072	393389	98,24
70	CAB2 - 70	7378	0,74	3	717	0,072	390317	97,47
71	CAB2 - 71	7297	0,73	3	732	0,073	391393	97,74
72	CAB2 - 72	7239	0,72	3	699	0,070	398921	99,62
73	CAB2 - 73	7392	0,74	3	678	0,068	404118	100,92
74	CAB2 - 74	7429	0,74	3	694	0,069	402315	100,47
75	CAB2 - 75	7298	0,73	4	671	0,067	396525	99,02
76	CAB2 - 76	7444	0,74	5	690	0,069	396198	98,94
77	CAB2 - 77	7467	0,75	6	688	0,069	391769	97,84
78	CAB2 - 78	7607	0,76	5	685	0,068	398554	99,53
79	CAB2 - 79	7671	0,77	4	714	0,071	394399	98,49
80	CAB2 - 80	7904	0,79	5	763	0,076	394005	98,39
81	CAB2 - 81	8084	0,81	5	689	0,069	400794	100,09
82	CAB2 - 82	6151	0,62	7	757	0,076	399177	99,69
83	CAB2 - 83	6351	0,64	6	766	0,077	389773	97,34
84	CAB2 - 84	6150	0,62	8	816	0,082	391095	97,67
85	CAB2 - 85	5893	0,59	4	749	0,075	390827	97,60
86	CAB2 - 86	5892	0,59	4	823	0,082	384983	96,14
87	CAB2 - 87	6277	0,63	7	784	0,078	387066	96,66
88	CAB2 - 88	6397	0,64	6	777	0,078	384520	96,03
89	CAB2 - 89	6301	0,63	6	771	0,077	391864	97,86
90	CAB2 - 90	5876	0,59	6	747	0,075	382860	95,61
91	CAB2 - 91	5994	0,60	5	710	0,071	388183	96,94
92	CAB2 - 92	6609	0,66	7	748	0,075	394575	98,54
93	CAB2 - 93	6061	0,61	7	722	0,072	385912	96,37
94	CAB2 - 94	6057	0,61	6	734	0,073	382793	95,60
95	CAB2 - 95	6310	0,63	6	742	0,074	389007	97,15
96	CAB2 - 96	6522	0,65	6	749	0,075	389118	97,17
97	CAB2 - 97	6333	0,63	6	770	0,077	384201	95,95
98	CAB2 - 98	6056	0,61	6	711	0,071	377841	94,36
99	CAB2 - 99	5929	0,59	5	715	0,071	380228	94,95
100	CAB2 - 100	6836	0,68	5	727	0,073	384904	96,12

**APÊNDICE 3- Leituras das razões geoquímicas encontradas no
testemunho CAB-2, ICP-OES (Cont)**

N Lab	AMOSTRA	Sr (µg/L)	Sr (%)	Ba (µg/L)	Mg (µg/L)	Mg (%)	Ca (µg/L)	Ca (%)
101	CAB2 - 101	6521	0,65	6	735	0,073	389075	97,16
102	CAB2 - 102	6185	0,62	6	714	0,071	377410	94,25
103	CAB2 - 103	7220	0,72	7	752	0,075	388861	97,11
104	CAB2 - 104	7412	0,74	6	780	0,078	390048	97,41
105	CAB2 - 105	7529	0,75	5	818	0,082	390671	97,56
106	CAB2 - 106	7771	0,78	5	763	0,076	392417	98,00
107	CAB2 - 107	7699	0,77	5	739	0,074	395322	98,72
108	CAB2 - 108	7228	0,72	5	751	0,075	392632	98,05
109	CAB2 - 109	7013	0,70	4	719	0,072	396520	99,02
110	CAB2 - 110	7807	0,78	5	760	0,076	392206	97,95
111	CAB2 - 111	7689	0,77	4	785	0,079	388851	97,11
112	CAB2 - 112	7973	0,80	5	714	0,071	394659	98,56
113	CAB2 - 113	7915	0,79	4	747	0,075	387122	96,68
114	CAB2 - 114	8108	0,81	5	829	0,083	388937	97,13
115	CAB2 - 115	8194	0,82	3	815	0,082	400729	100,07
116	CAB2 - 116	7500	0,75	5	745	0,075	378557	94,54
117	CAB2 - 117	7774	0,78	4	738	0,074	391285	97,72
118	CAB2 - 118	8160	0,82	4	742	0,074	389822	97,35
119	CAB2 - 119	8166	0,82	3	743	0,074	392103	97,92
120	CAB2 - 120	7982	0,80	3	706	0,071	383891	95,87
121	CAB2 - 121	7848	0,78	3	700	0,070	383187	95,69
122	CAB2 - 122	8051	0,81	3	724	0,072	400223	99,95
123	CAB2 - 123	6187	0,62	5	790	0,079	392255	97,96
124	CAB2 - 124	6313	0,63	6	761	0,076	387036	96,65
125	CAB2 - 125	6233	0,62	7	756	0,076	390787	97,59
126	CAB2 - 126	6156	0,62	5	732	0,073	401899	100,37
127	CAB2 - 127	6122	0,61	5	742	0,074	395580	98,79
128	CAB2 - 128	6164	0,62	5	741	0,074	397059	99,16
129	CAB2 - 129	6205	0,62	5	740	0,074	398538	99,53
130	CAB2 - 130	6056	0,61	6	735	0,074	397490	99,27
131	CAB2 - 131	6465	0,65	6	789	0,079	395509	98,77
132	CAB2 - 132	5997	0,60	4	778	0,078	399579	99,79
133	CAB2 - 133	6257	0,63	7	742	0,074	393014	98,15
134	CAB2 - 134	6320	0,63	5	203	0,020	16017	4,00
135	CAB2 - 135	6497	0,65	5	748	0,075	391222	97,70
136	CAB2 - 136	6291	0,63	5	758	0,076	386623	96,55
137	CAB2 - 137	6565	0,66	5	764	0,076	391893	97,87
138	CAB2 - 138	6494	0,65	5	737	0,074	388944	97,13
139	CAB2 - 139	6450	0,65	5	761	0,076	392084	97,92
140	CAB2 - 140	6667	0,67	5	751	0,075	390901	97,62
141	CAB2 - 141	6667	0,67	6	721	0,072	397434	99,25
142	CAB2 - 142	6638	0,66	6	745	0,075	393654	98,31
143	CAB2 - 143	6734	0,67	7	728	0,073	392440	98,00
144	CAB2 - 144	6756	0,68	5	780	0,078	395094	98,67
145	CAB2 - 145	6603	0,66	5	777	0,078	389554	97,28
146	CAB2 - 146	6321	0,63	6	493	0,049	398579	99,54
147	CAB2 - 147	6332	0,63	6	750	0,075	392426	98,00
148	CAB2 - 148	6091	0,61	7	714	0,071	387200	96,70
149	CAB2 - 149	6132	0,61	9	731	0,073	376537	94,03
150	CAB2 - 150	5815	0,58	7	763	0,076	397771	99,34

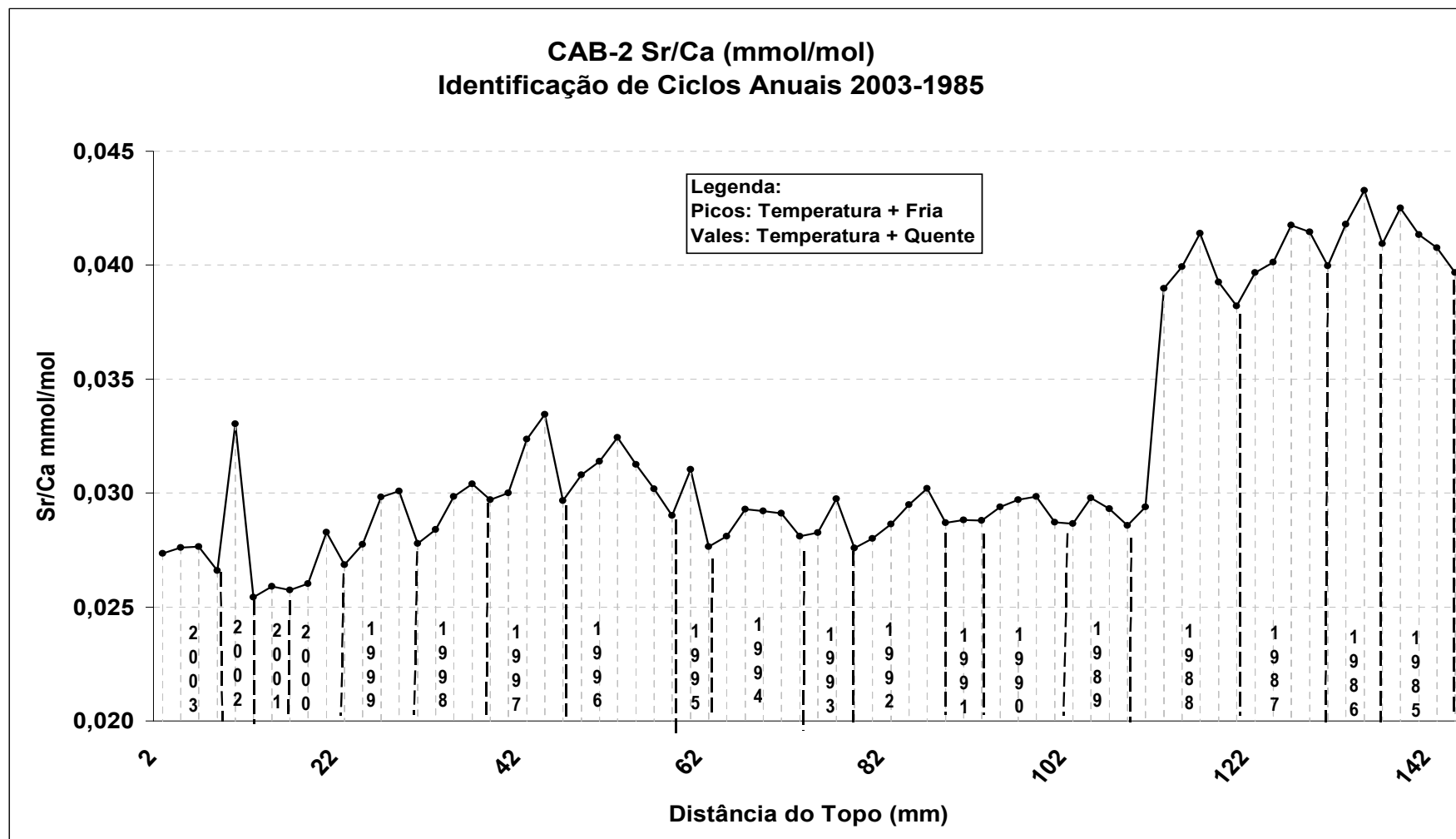
APÊNDICE 3 - Leitura das razões geoquímicas encontradas no testemunho CAB-2, ICP-OES (Cont)

N Lab	AMOSTRA	Sr (µg/L)	Sr (%)	Ba (µg/L)	Mg (µg/L)	Mg (%)	Ca (µg/L)	Ca (%)
151	CAB2 - 151	6561	0,66	7	764	0,076	392006	97,90
152	CAB2 - 152	6241	0,62	5	748	0,075	397546	99,28
153	CAB2 - 153	5878	0,59	10	752	0,075	383743	95,83
154	CAB2 - 154	5983	0,60	5	767	0,077	390904	97,62
155	CAB2 - 155	6154	0,62	12	748	0,075	393854	98,36
156	CAB2 - 156	6354	0,64	5	758	0,076	396991	99,14
157	CAB2 - 157	6119	0,61	6	729	0,073	401498	100,27
158	CAB2 - 158	6070	0,61	5	789	0,079	393790	98,34
159	CAB2 - 159	5638	0,56	4	755	0,075	392094	97,92
160	CAB2 - 160	5792	0,58	4	789	0,079	390823	97,60
161	CAB2 - 161	5896	0,59	4	777	0,078	394951	98,63
162	CAB2 - 162	6075	0,61	4	786	0,079	395059	98,66
163	CAB2 - 163	6255	0,63	4	796	0,080	395167	98,68
164	CAB2 - 164	5914	0,59	4	774	0,077	394933	98,63
165	CAB2 - 165	5950	0,60	4	765	0,076	384803	96,10
166	CAB2 - 166	6043	0,60	3	744	0,074	388085	96,92
167	CAB2 - 167	6368	0,64	5	749	0,075	379603	94,80
168	CAB2 - 168	6454	0,65	7	731	0,073	390839	97,60
169	CAB2 - 169	6492	0,65	6	858	0,086	395136	98,68
170	CAB2 - 170	6700	0,67	5	772	0,077	396069	98,91
171	CAB2 - 171	6944	0,69	6	740	0,074	398873	99,61
172	CAB2 - 172	6910	0,69	6	778	0,078	396302	98,97
173	CAB2 - 173	6781	0,68	5	773	0,077	397961	99,38
174	CAB2 - 174	6738	0,67	5	770	0,077	390316	97,47
175	CAB2 - 175	6559	0,66	0	759	0,076	396261	98,96
176	CAB2 - 176	6708	0,67	5	765	0,076	395143	98,68
177	CAB2 - 177	6706	0,67	5	766	0,077	397343	99,23
178	CAB2 - 178	6495	0,65	5	760	0,076	390810	97,60
179	CAB2 - 179	6702	0,67	6	780	0,078	400153	99,93
180	CAB2 - 180	7002	0,70	5	778	0,078	382482	95,52
181	CAB2 - 181	7256	0,73	5	767	0,077	394182	98,44
182	CAB2 - 182	7297	0,73	6	754	0,075	398533	99,53
183	CAB2 - 183	6755	0,68	6	738	0,074	381765	95,34
184	CAB2 - 184	6914	0,69	5	743	0,074	396414	99,00
185	CAB2 - 185	6459	0,65	6	816	0,082	390104	97,42
186	CAB2 - 186	6005	0,60	6	745	0,074	392276	97,96
187	CAB2 - 187	6102	0,61	5	777	0,078	383346	95,73
188	CAB2 - 188	6185	0,62	5	799	0,080	390868	97,61
189	CAB2 - 189	6729	0,67	5	795	0,080	394413	98,50
190	CAB2 - 190	6293	0,63	5	755	0,076	396683	99,06
191	CAB2 - 191	5936	0,59	5	755	0,076	394515	98,52
192	CAB2 - 192	6367	0,64	5	794	0,079	394301	98,47
193	CAB2 - 193	6444	0,64	5	771	0,077	392182	97,94
194	CAB2 - 194	6436	0,64	5	762	0,076	387950	96,88
195	CAB2 - 195	6240	0,62	6	759	0,076	388597	97,04
196	CAB2 - 196	6399	0,64	5	762	0,076	387828	96,85
197	CAB2 - 197	6289	0,63	6	755	0,076	393780	98,34
198	CAB2 - 198	6180	0,62	6	748	0,075	399732	99,83
199	CAB2 - 199	6065	0,61	5	733	0,073	394424	98,50
200	CAB2 - 200	6520	0,65	5	767	0,077	398080	99,41
201	CAB2 - 201	6569	0,66	5	767	0,077	391648	97,81
202	CAB2 - 202	6619	0,66	5	767	0,077	385215	96,20
203	CAB2 - 203	6372	0,64	5	748	0,075	395843	98,85
204	CAB2 - 204	6460	0,65	6	753	0,075	397938	99,38
205	CAB2 - 205	6564	0,66	5	800	0,080	386947	96,63
206	CAB2 - 206	6675	0,67	5	781	0,078	387980	96,89
207	CAB2 - 207	6675	0,67	5	781	0,078	387980	96,89

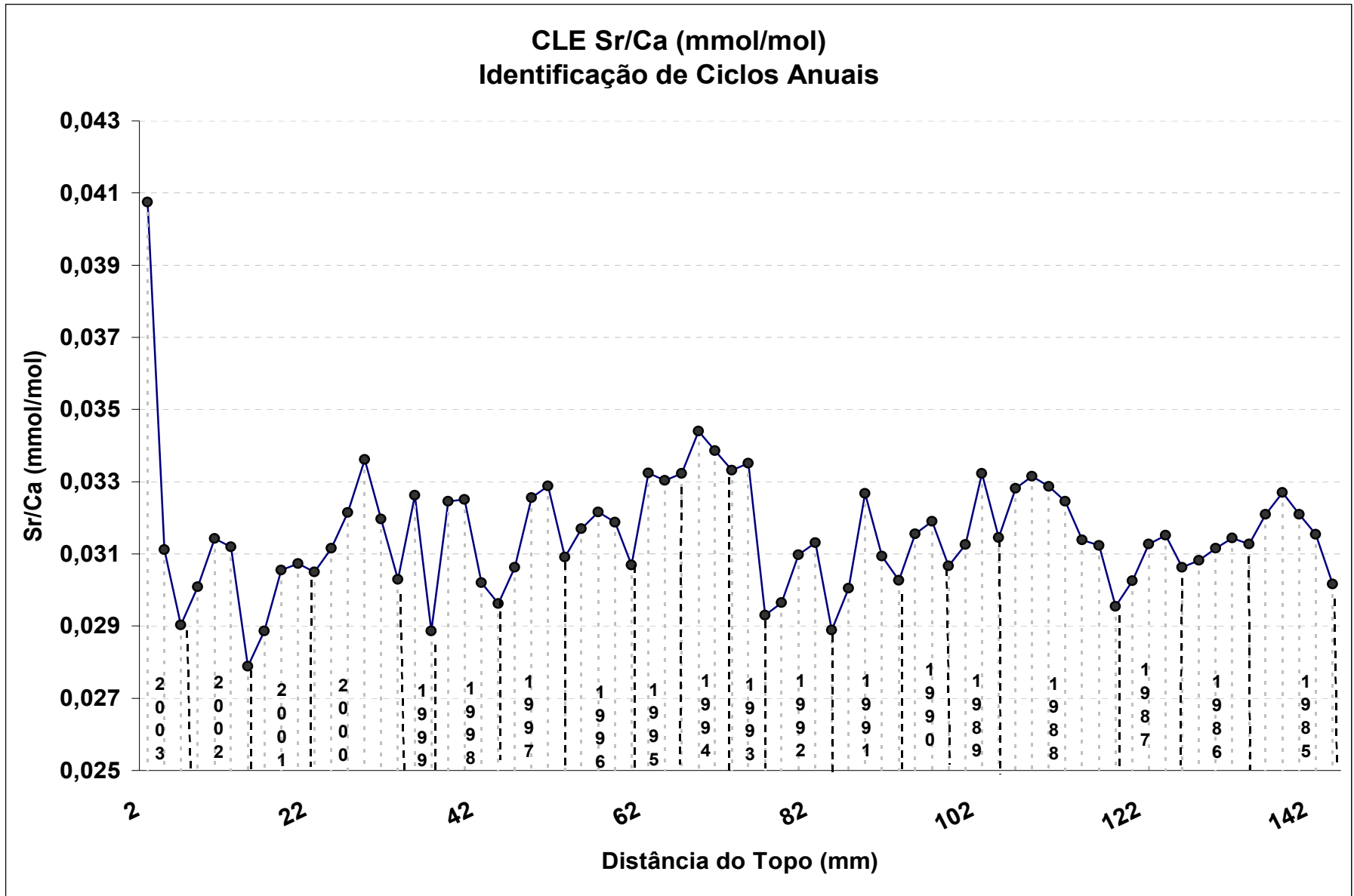
**APÊNDICE 4 - Leituras das razões geoquímicas encontradas no
testemunho CLE, ICP-OES**

AMOSTRA	Sr (µg/mL)	rsd (%)	Ba(µg/ mL)	rsd (%)	Mg(µg/ mL)	rsd (%)	Ca(µg/m L)	rsd (%)	SrCO ₃ (%)	MgCO ₃ (%)	CaCO ₃ (%)	TOTAL
CLE-1	7218	0,41	9	0,34	954	0,29	387243	0,26	1,22	0,33	96,70	98,25
CLE-2	5503	0,60	6	1,46	857	0,22	386663	0,56	0,93	0,30	96,56	97,78
CLE-3	5200	0,18	5	0,80	818	0,20	391497	0,40	0,88	0,28	97,76	98,92
CLE-4	5361	0,94	5	2,20	766	0,39	389522	0,64	0,90	0,27	97,27	98,44
CLE-5	5606	0,71	5	1,70	713	0,04	390062	0,45	0,94	0,25	97,41	98,60
CLE-6	5472	0,53	17	1,31	749	0,22	383565	0,29	0,92	0,26	95,78	96,97
CLE-7	5044	0,09	4	1,56	767	0,26	395455	0,75	0,85	0,27	98,75	99,87
CLE-8	5182	1,01	5	0,40	1139	0,17	392507	1,26	0,87	0,40	98,02	99,29
CLE-9	5501	1,10	5	0,85	768	1,57	393699	0,40	0,93	0,27	98,31	99,51
CLE-10	5374	0,94	6	0,76	707	0,43	382365	0,91	0,91	0,25	95,48	96,63
CLE-11	5413	0,96	5	0,79	725	1,45	388014	0,65	0,91	0,25	96,89	98,06
CLE-12	5527	0,28	5	1,20	690	0,46	387925	0,02	0,93	0,24	96,87	98,04
CLE-13	5749	1,05	5	2,26	689	0,16	390983	0,25	0,97	0,24	97,64	98,84
CLE-14	6008	1,36	6	0,18	697	0,36	390752	0,17	1,01	0,24	97,58	98,83
CLE-15	5775	1,36	6	0,78	707	0,00	394871	0,68	0,97	0,25	98,61	99,83
CLE-16	5502	0,89	5	0,45	696	0,47	397101	0,62	0,93	0,24	99,16	100,33
CLE-17	5921	0,30	6	1,20 · 10 ⁻⁴	668	0,25	396825	0,70	1,00	0,23	99,10	100,32
CLE-18	5125	0,92	7	1,57	671	0,78	388251	0,43	0,86	0,23	96,95	98,05
CLE-19	5794	0,37	5	1,43	665	0,17	390268	0,39	0,98	0,23	97,46	98,66
CLE-20	5779	0,72	6	0,81	992	0,53	388634	0,49	0,97	0,34	97,05	98,37
CLE-21	5379	1,23	6	0,53	874	0,15	389360	0,52	0,91	0,30	97,23	98,44
CLE-22	5280	0,52	5	2,16	1961	0,21	389620	0,95	0,89	0,68	97,30	98,87
CLE-23	5443	0,55	5	0,13	2260	0,09	388486	0,44	0,92	0,78	97,01	98,71
CLE-24	5777	0,50	6	1,54	1034	0,57	387881	0,32	0,97	0,36	96,86	98,19
CLE-25	5695	1,64	6	0,53	778	0,29	378603	0,70	0,96	0,27	94,54	95,77
CLE-26	5494	0,42	6	0,39	755	0,20	388667	0,66	0,93	0,26	97,06	98,25
CLE-27	5664	0,64	6	2,04	651	0,49	390598	0,40	0,95	0,23	97,54	98,72
CLE-28	5538	0,21	6	1,90	637	0,33	376546	0,40	0,93	0,22	94,03	95,19
CLE-29	5523	0,71	6	0,98	667	0,54	378730	0,41	0,93	0,23	94,58	95,74
CLE-30	5594	0,63	6	1,22	762	0,18	398475	0,31	0,94	0,26	99,51	100,71
CLE-31	5887	1,06	6	0,64	686	0,12	387106	0,62	0,99	0,24	96,67	97,90
CLE-32	5744	0,57	6	0,90	640	0,27	380139	0,56	0,97	0,22	94,93	96,12
CLE-33	5786	1,08	6	1,43	629	0,05	380635	0,56	0,97	0,22	95,05	96,25
CLE-34	6122	0,43	7	1,50	640	0,17	389093	0,61	1,03	0,22	97,16	98,42
CLE-35	6027	0,47	6	1,51	643	0,24	389109	0,67	1,02	0,22	97,17	98,41
CLE-36	5790	0,34	6	1,67	637	0,53	379972	0,86	0,98	0,22	94,89	96,08
CLE-37	5808	0,86	6	0,29	629	0,05	378931	0,61	0,98	0,22	94,63	95,82
CLE-38	5215	0,25	5	2,07	718	1,38	389076	0,17	0,88	0,25	97,16	98,29
CLE-39	5255	0,34	4	0,97	701	0,33	387435	0,42	0,89	0,24	96,75	97,88
CLE-40	5564	1,29	5	0,58	748	0,60	392686	6,18	0,94	0,26	98,06	99,26
CLE-41	5651	0,83	5	1,88	740	0,42	394556	0,84	0,95	0,26	98,53	99,74
CLE-42	5119	0,51	3	1,85	698	0,67	387465	0,70	0,86	0,24	96,76	97,86
CLE-43	5368	0,60	4	1,58	706	1,14	390627	0,36	0,90	0,24	97,55	98,70
CLE-44	5767	0,79	5	0,22	706	0,79	385921	0,90	0,97	0,25	96,37	97,59
CLE-45	5413	0,68	6	0,38	738	0,68	382602	0,40	0,91	0,26	95,54	96,71
CLE-46	5344	0,23	5	0,52	812	0,76	386113	1,01	0,90	0,28	96,42	97,60
CLE-47	5517	1,44	6	0,80	767	0,71	382230	1,00	0,93	0,27	95,45	96,65
CLE-48	5548	1,00	5	0,43	715	0,52	380242	0,15	0,93	0,25	94,95	96,14
CLE-49	5442	1,20	5	1,40	704	0,33	387982	0,94	0,92	0,24	96,89	98,05
CLE-50	5584	1,19	5	0,81	781	0,14	390548	0,35	0,94	0,27	97,53	98,74
CLE-51	5817	0,66	5	0,19	781	0,19	382673	0,86	0,98	0,27	95,56	96,81
CLE-52	5685	1,71	6	1,21	776	0,95	395112	0,54	0,96	0,27	98,67	99,89
CLE-53	5729	0,57	6	0,42	740	1,26	381700	0,28	0,97	0,26	95,32	96,54
CLE-54	5842	0,40	6	1,56	759	0,27	385262	0,79	0,98	0,26	96,21	97,46
CLE-55	5916	1,40	5	0,55	773	0,32	393441	0,40	1,00	0,27	98,25	99,51
CLE-56	5725	0,83	5	1,71	741	0,75	385617	0,52	0,96	0,26	96,30	97,52
CLE-57	5468	0,89	7	1,71	731	1,15	380868	0,38	0,92	0,25	95,11	96,29
CLE-58	5539	0,52	7	0,78	762	0,56	387777	0,75	0,93	0,26	96,84	98,03
CLE-59	5229	0,27	6	0,83	737	0,57	386876	0,36	0,88	0,26	96,61	97,75
CLE-60	5388	1,67	7	0,88	762	1,72	389363	0,83	0,91	0,26	97,23	98,40
CLE-61	5633	1,03	7	1,21	751	0,52	393748	1,14	0,95	0,26	98,33	99,54
CLE-62	5559	0,17	6	0,38	851	1,40	385619	0,23	0,94	0,30	96,30	97,53
CLE-63	5383	0,27	6	1,11	761	0,79	384233	0,11	0,91	0,26	95,95	97,12
CLE-64	5439	1,13	7	0,50	787	0,51	385878	0,31	0,92	0,27	96,36	97,55
CLE-65	5479	1,54	7	0,70	731	0,32	384551	1,05	0,92	0,25	96,03	97,21
CLE-66	5569	1,07	6	1,11	740	0,45	387351	0,05	0,94	0,26	96,73	97,92
CLE-67	5562	1,04	8	1,10	875	1,17	388867	0,72	0,94	0,30	97,11	98,35
CLE-68	5711	1,92	7	1,00	839	0,75	389002	0,51	0,96	0,29	97,14	98,39
CLE-69	5807	0,28	7	0,42	754	0,63	388229	0,42	0,98	0,26	96,95	98,19
CLE-70	5691	0,37	6	0,12	766	0,32	387707	0,67	0,96	0,27	96,82	98,04
CLE-71	5612	1,47	6	1,49	756	0,24	388950	0,21	0,95	0,26	97,13	98,34
CLE-72	5434	0,80	6	1,91	717	1,49	393873	0,38	0,92	0,25	98,36	99,52

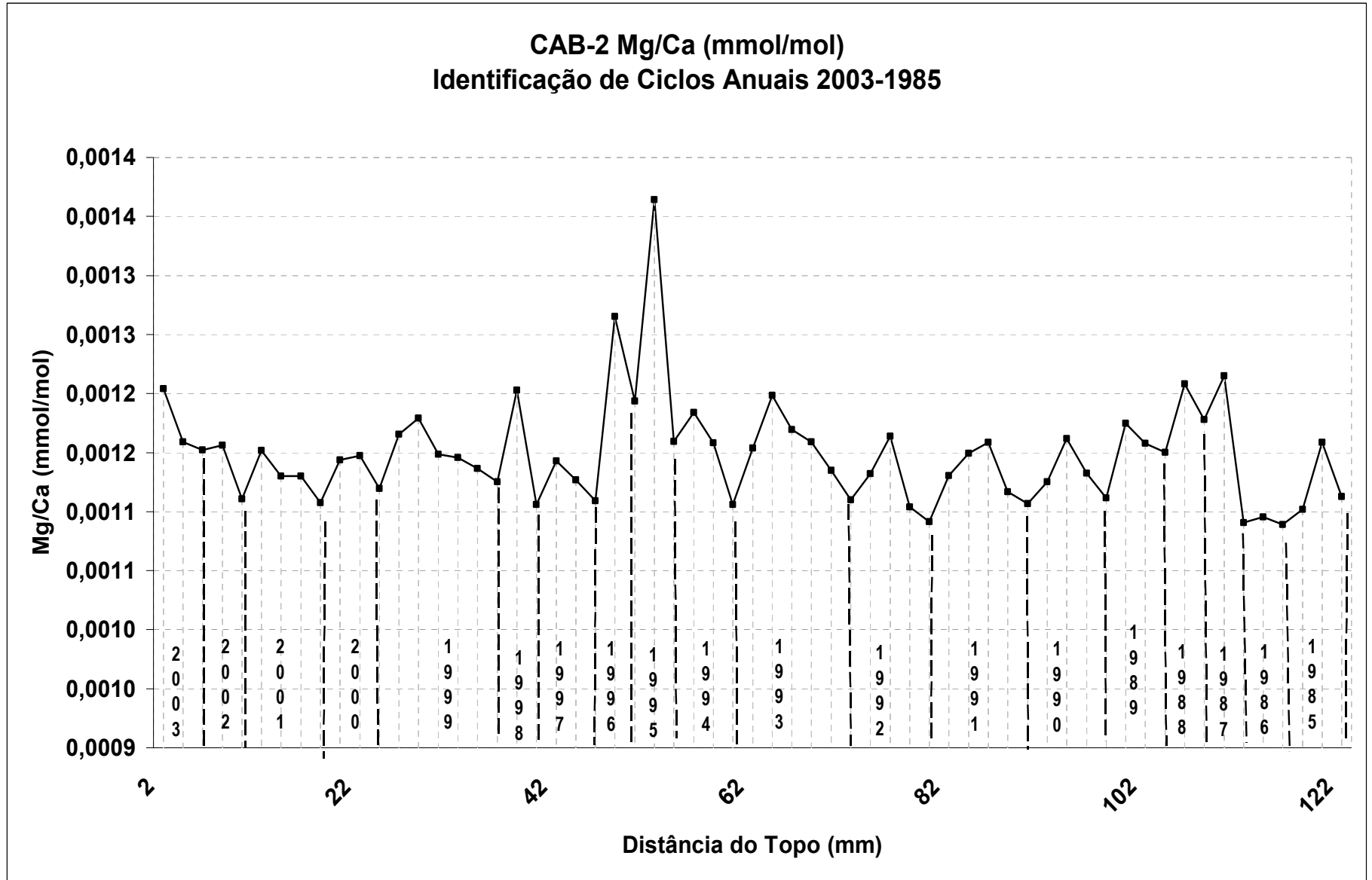
APÊNDICE 5 - CICLOS GEOQUÍMICOS (IMAGENS AMPLIADAS)



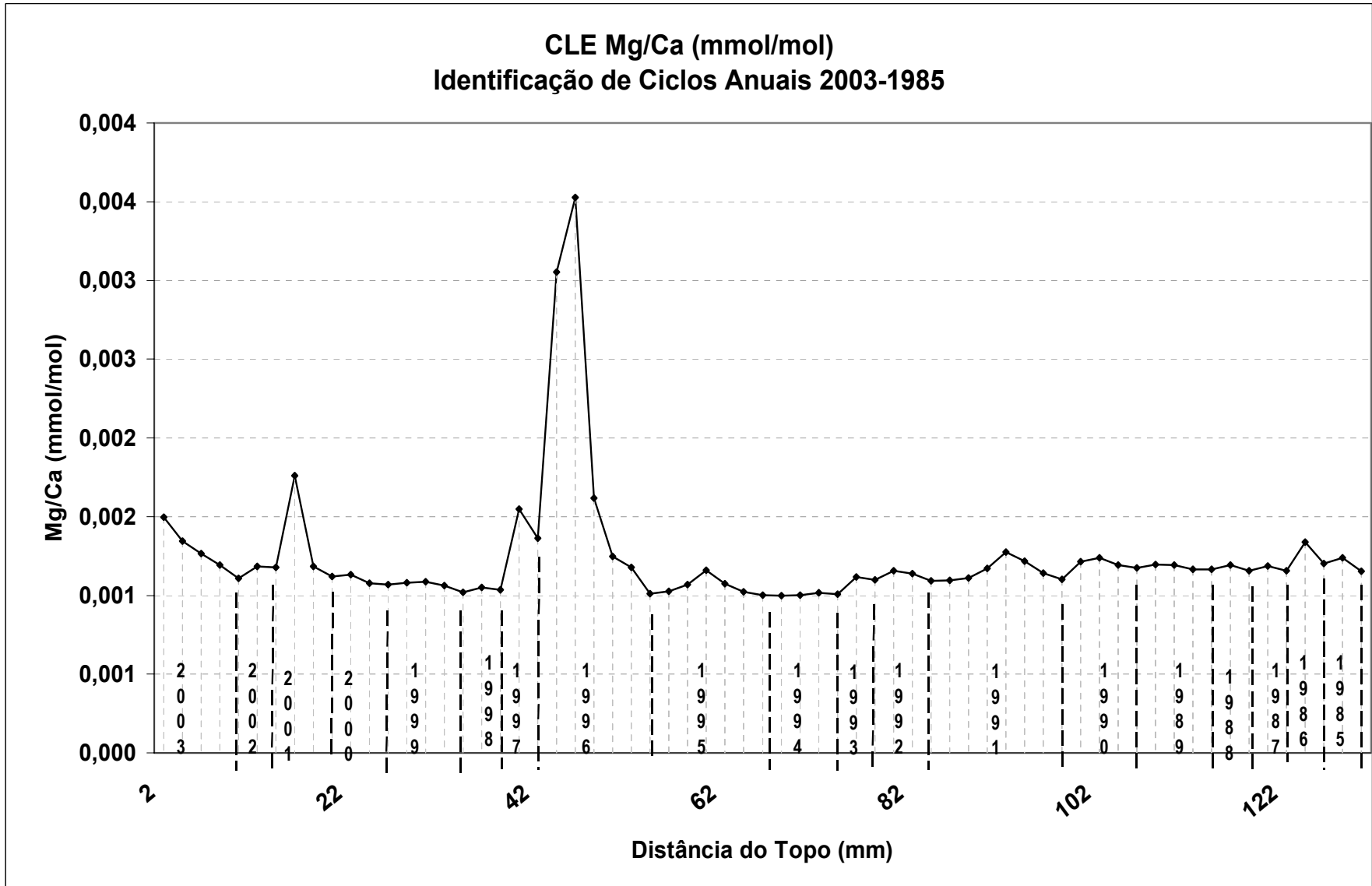
APÊNDICE 5 - CICLOS GEOQUÍMICOS (IMAGENS AMPLIADAS) (Cont)



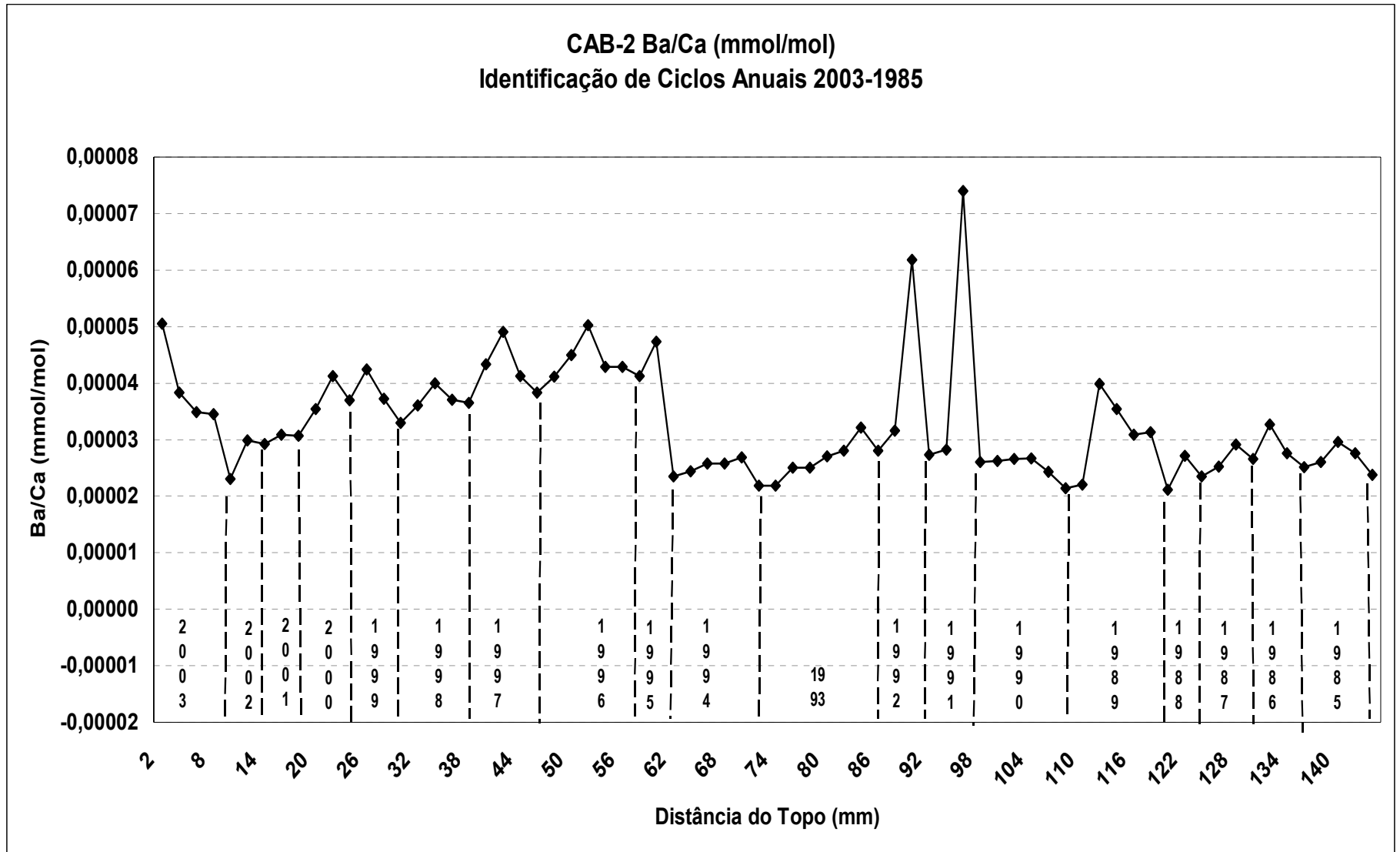
APÊNDICE 5 - CICLOS GEOQUÍMICOS (IMAGENS AMPLIADAS) (Cont)



APÊNDICE 5 - CICLOS GEOQUÍMICOS (IMAGENS AMPLIADAS) (Cont)



APÊNDICE 5 - CICLOS GEOQUÍMICOS (IMAGENS AMPLIADAS) (Cont)



APÊNDICE 5 - CICLOS GEOQUÍMICOS (IMAGENS AMPLIADAS) (Cont)

