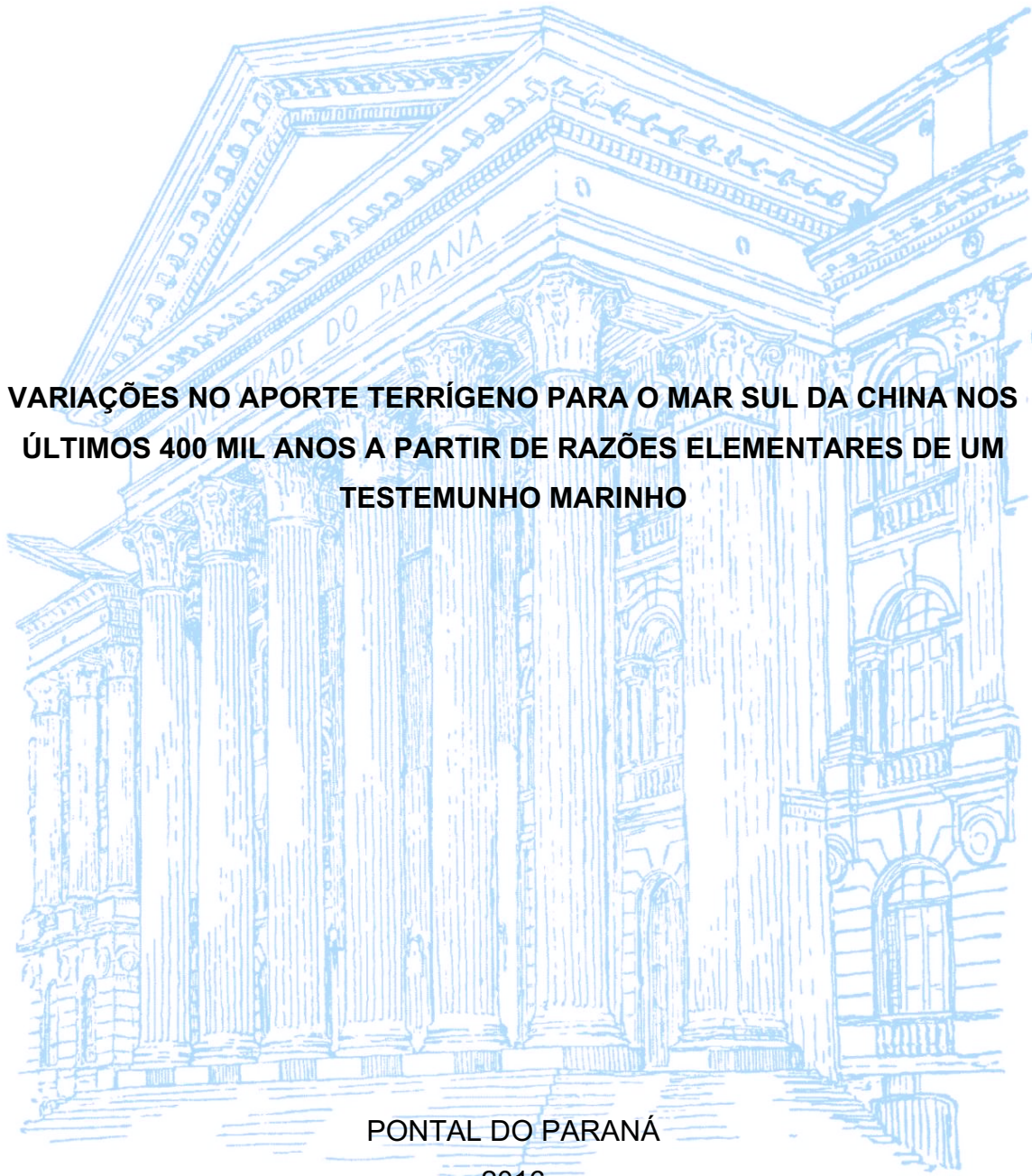


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS DA TERRA
CENTRO DE ESTUDOS DO MAR
CURSO DE GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA

ANNE LOUISE MAFRA LOPEZ BARBON DE SOUZA



**VARIAÇÕES NO APORTE TERRÍGENO PARA O MAR SUL DA CHINA NOS
ÚLTIMOS 400 MIL ANOS A PARTIR DE RAZÕES ELEMENTARES DE UM
TESTEMUNHO MARINHO**

PONTAL DO PARANÁ

2016

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS DA TERRA
CENTRO DE ESTUDOS DO MAR
CURSO DE GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA

ANNE LOUISE MAFRA LOPEZ BARBON DE SOUZA

**VARIAÇÕES NO APORTE TERRÍGENO PARA O MAR SUL DA CHINA NOS
ÚLTIMOS 400 MIL ANOS A PARTIR DE RAZÕES ELEMENTARES DE UM
TESTEMUNHO MARINHO**

Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel em Oceanografia, Setor de Ciências da Terra, Centro de Estudos do Mar, Universidade Federal do Paraná.

Orientadores: Prof^a. Dr^a. Renata Hanae Nagai e Prof. Dr. Rubens Cesar Lopes Figueira

PONTAL DO PARANÁ

2016

DEDICATÓRIA

A minha querida mãe, Valéria Lopes, por todo o tempo, amor e cuidado dedicado a mim e por ser um dos maiores exemplos de força, perseverança e integridade na minha vida.

Ao meu pai, Euclides de Souza, que sempre fez de tudo para estar presente ao longo da minha criação, por todos os valiosos conselhos e por ter me inspirado a escolher oceanografia como carreira para o futuro.

A minha voinha, Nylce Gouvêia de Souza, por todo carinho e amor incondicional.

A minha irmã, Mary Ann Barbon, que sempre acreditou em mim e esteve presente nos momentos que mais precisei.

Por estas razões, gostaria de dedicar e reconhecer á vocês, minha imensa gratidão e amor.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Valéria Lopes e Euclides de Souza, e a minha irmã, Mary Barbon, pelo suporte e apoio essencial ao longo destes anos de faculdade.

Agradeço a minha querida orientadora, Prof. Dr. Renata Hanae Nagai, por sempre estar presente e me ensinar e inspirar a dar o melhor de mim ao longo do desenvolvimento não só do presente trabalho, mas como de todos os futuros.

Agradeço ao Prof. Dr. Rubens Cesar Lopes Figueira, pela colaboração e co-orientação.

Agradeço ao Laboratório de química orgânica (LaQImar) do Instituto oceanográfico (IO), por viabilizar todo o processo de tratamento e análise das amostras, essencial para o desenvolvimento do presente trabalho.

Ao CNPq pela bolsa de iniciação científica concedida ao primeiro autor através do Programa Institucional de Bolsa CNPq/PIBIC/IEPA.

A FAPESP, pelo apoio financeiro e institucional.

Agradeço aos professores que desempenharam com dedicação as aulas ministradas.

Agradeço á todos os funcionários da Universidade Federal do Paraná, mas não poderia deixar de mencionar, Ízis Glaé Bail, que atenciosamente atendeu a todos os meus e e-mails.

Agradeço ao GRR 2011, meus colegas de classe, por todas as histórias e companhia ao longo desses anos de faculdade.

Não poderia deixar de agradecer a Tairiny Simeonato e ao Felipe Rodrigues, por todas as risadas, danças espontâneas, tardes de estudos e conselhos sobre o TCC, e ao Adam Brabyn, pela compreensão, palavras de incentivo e apoio durante a elaboração deste trabalho.

Agradeço a MARIS, por todo o aprendizado pessoal e capacitação profissional.

Agradeço a CAPES, pela apoio financeiro e concessão da bolsa do programa ciências sem fronteiras.

Agradeço também á todos que uma alguma forma direta ou indireta contribuíram para a realização deste trabalho.

“O fato de nós nos aferrarmos com tanta voracidade ao 'sobrenatural' pode ser explicado por um tipo raro de cegueira, que não nos permite enxergar o maior dos mistérios: o fato de que existe um mundo”

Jostein Gaarder

RESUMO

O Mar Sul da China (SCS), caracterizado por apresentar altas taxas de sedimentação e condições favoráveis a preservação dos carbonatos, é uma região com potencial para reconstruções paleoceanográficas. O clima, a hidrografia e, conseqüentemente, a distribuição dos sedimentos terrígenos que chegam no SCS são influenciados pelo Sistema de Monção do Leste Asiático (EAM), que se subdivide em Sistema de Monção do Leste Asiático de inverno (EAMw) e Sistema de Monção do Leste Asiático de verão (EAMs). A fim de melhor compreender a influência, ao longo de ciclos glaciais/interglaciais do Quaternário Superior (últimos 400 ka), do EAM na variação do aporte de sedimentos terrígenos para o SCS, o presente trabalho sintetizou dados geoquímicos existentes de amostras de superfície do assoalho oceânico e rios circundantes a esta bacia marginal para analisar as oscilações registradas pelas razões elementares terrígenas (*i.e.*, Ti/Ca, Fe/Ca, Fe/K) ao longo de um registro sedimentar marinho (349-U1431D), coletado na bacia leste do SCS. A partir da avaliação conjunta destes dados, foi possível testar a aplicabilidade das razões terrígenas no SCS, identificar camadas de cinzas vulcânicas ao longo do testemunho e propor uma nova razão terrígena como *proxy* de origem do material terrígeno deste estudo para o SCS entre as ilhas de Taiwan e Luzon. De forma geral, nossos dados sugerem que durante os períodos interglaciais (glaciais) o SCS recebeu maior (menor) aporte de sedimentos terrígenos provenientes principalmente de Taiwan (Luzon), associado a maior (menor) precipitação no continente adjacente, resultante de um EAMs mais intenso (fraco).

Palavras-chaves: Sistema Monção do Leste Asiático, Quaternário, Razões Elementares, Precipitação, aporte Terrígeno, Mar Sul da China.

ABSTRACT

The high sedimentation rates of the South China Sea (SCS) makes this marginal basin a potential region for paleoceanographic reconstructions. The climate, hydrography, and the terrigenous input to the SCS respond to the seasonal reversal of winds promoted by the East Asian Monsoon System (EAM), which is composed by two subsystems, the East Asian Winter Monsoon (EAMw) and the East Asian Summer Monsoon (EAMs). This study aims to better understand the influence of the EAM in the terrigenous input to the SCS, along the glacial/interglacial cycles of the Late Quaternary (last 400 ka). In order to achieve this, the present study synthesizes existing geochemical data of surface sediment samples from the seafloor and surrounding rivers of this marginal basin. And applied elemental ratios (*i.e.*, Ti/Ca, Fe/Ca, Fe/K) as terrestrial proxies along a marine sedimentary record (349-U1431D), collected in the eastern basin of the SCS. Considering the analyses of this data, it was possible to test the applicability of the selected elemental ratios in the SCS, to identify layers of volcanic ash along the core, and to propose a new terrigenous ratios as proxies of source of the terrigenous sediments between the islands of Taiwan and Luzon in the SCS. In general, our data suggests that during the interglacial (glacial) periods, the SCS received a larger (lower) contribution of terrigenous sediments originating mainly from Taiwan (Luzon), associated with greater (less) precipitation in the adjacent continent resulting from a more Intense (weak).

Key words: East Asian Monsoon system, Quaternary, Terrigenous input, Elemental Ratios, Precipitation, South China Sea.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa batimétrico da região do Mar da China, o triângulo vermelho representa o ponto de coleta do testemunho 349-U1431D que será analisado neste trabalho.	21
Figura 2 - Fluxograma do método de digestão total de sedimentos baseado no método SW-846 3052 (USEPA, 1996).	26
Figura 3- Modelo de idade dos primeiros 20m do testemunho 349-U1431D (Época Pleistoceno).	28
Figura 4- Valores de suscetibilidade magnética e NGR sobrepostos e ampliados (a). Valores de natural gamma ray (NGR – contagens/s) e suscetibilidade magnética (SM - $\times 10^{-5}$ SI) ao longo dos primeiros 20m do testemunho 349-U1431D. As faixas cinzas correspondem aos estágios isotópicos marinhos (MIS) interglaciais, os limites dos MIS com base em Lisiecki e Raymo (2005).	29
Figura 5 – Histogramas com valores médios das razões elementares (a) Ti/Ca, (b) Fe/Ca, (c) Ti/Al, (d) Fe/K e (e) Al/K das principais bacias hidrográficas e regiões contribuintes de material terrígeno para o SCS no Presente (Rios de Taiwan, Tailândia, Península da Malásia, Sumatra, Bornéu e Luzon e dos rios Pearl, Red e Mekong).	31
Figura 6 - Distribuição dos valores médios das razões elementares (a) Ti/Ca, (b) Fe/Ca e (c) Ti/Al (d) Fe/K e (e) Al/K em sedimentos na fração bulk (<63 μ m) de bacias hidrográficas adjacentes ao SCS (com base em Liu et al. (2016)) e nos sedimentos superficiais do SCS (com base em Wei et al. (2016)), pontos pretos indicam os locais de coleta de Liu et al. (2016) e Wei et al. (2016) e o ponto de coleta do testemunho 349-U1431D é representado pelo triângulo vermelho.	32
Figura 7 - Concentrações (mg/kg) dos elementos Al, Ba, Ca, Fe, K, Sc e Ti, e razões elementares Fe/Ca, Ti/Ca, Fe/K, Ti/Al, Al/K ao longo dos primeiros 20m do testemunho 349-U1431D. As faixas cinzas correspondem aos estágios isotópicos marinhos (MIS) interglaciais, os limites dos MIS com base em Lisiecki e Raymo (2005).	34
Figura 8 – Mapas de (a) localização da área de estudo com os sistemas fluviais continentais e o aporte anual de sedimentos em suspensão ($\times 10^6$ t/ano) para o Mar Sul da China (com base em: Liu et al., 2016); e de distribuição dos valores das razões elementares (b) Ti/Ca, (c) Fe/Ca e (d) Ti/Al e (e) Fe/K em sedimentos superficiais do Mar	

Sul da China (com base em: Wei et al., 2015). O triângulo vermelho representa o ponto de coleta do testemunho 349-U1431D..... 38

Figura 9 - Variações nos últimos 400 ka das propriedades físicas (NGR – contagens/s e susceptibilidade magnética – $\times 10^{-5}$ SI) e das razões elementares Ti/Ca, Fe/Ca, Fe/K, Ti/Al, e Ba/Al, nos sedimentos do testemunho 349-U1431D do Mar Sul da China (este trabalho) e composição isotópica de oxigênio ($\delta^{18}O$) em espeleotemas de cavernas (Hulu, Dongge e Sanbao) localizadas no SE da China (CHENG et al., 2016b). A faixa verde destaca os valores de NGR considerados indicativos de grãos de tamanho areia, e a faixa azul, silte e lama (segundo RUSSELL, 1944 apud LI et al., 2015); e faixas cinzas correspondem aos estágios isotópicos marinhos (MIS) interglaciais, os limites dos MIS com base em Lisiecki e Raymo (2005). 42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Profundidade (cm) e idade (ka) dos eventos de nanofósseis calcáreos, radiolários e foraminíferos planctônicos para a Época Pleistoceno do testemunho 349-U1431D (fonte: LI et al., 2015).	28
Tabela 2 – Valores médios das razões elementares Ti/Ca, Fe/Ca, Ti/Al e Fe/K, consideradas como proxies de aporte de sedimentos terrígenos, em sedimentos na fração bulk (<63µm) coletados nas principais bacias de drenagem dos continentes e ilhas adjacentes ao SCS, os dados originais utilizados para o cálculo das médias foram retirados de Liu et al. (2016).	30

LISTA DE SIGLAS

EAM – Sistema de Monção Leste Asiático

EAMs – Sistema de Monção Leste Asiático de Verão

EAMw – Sistema de Monção Leste Asiático de Inverno

HS – Estaduais de Heirinch

SCS – Mar Sul da China

NGR – Natural Gama Ray

SM – Susceptibilidade Magnética

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.3 JUSTIFICATIVA.....	15
1.2 HIPÓTESE	16
1.3 OBJETIVOS.....	16
1.3.1 Objetivo geral	16
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	17
2.1 FORÇANTES CLIMÁTICAS NO QUATERNÁRIO.....	17
3 ÁREA DE ESTUDO	20
4 MATERIAL E MÉTODOS	22
4.1 CRONOLOGIA.....	23
4.2 PROPRIEDADES FÍSICAS CONTÍNUAS	23
4.3.1 Assinatura geoquímica de sedimentos superficiais do SCS.....	24
4.3.2 Digestão total de sedimentos do testemunho 349-U1431D	24
5 RESULTADOS.....	26
5.1 CRONOLOGIA.....	26
5.2 PROPRIEDADES FÍSICAS	29
5.3 ELEMENTOS MAIORES EM SEDIMENTOS MARINHOS.....	30
5.3.1 Assinatura geoquímica dos sedimentos superficiais do SCS.....	30
5.3.2. Razões elementares ao longo do testemunho 349-U1431D.....	33
6 DISCUSSÃO	35
6.1 ASSINATURA GEOQUÍMICA DOS SEDIMENTOS SUPERFICIAIS DO SCS: IMPLICAÇÕES PALEOCEANOGRÁFICAS E PALEOCLIMÁTICAS	35

6.2 VARIAÇÕES NO APORTE TERRÍGENO PARA O SCS NOS ÚLTIMOS 400 MIL ANOS	40
7 CONCLUSÕES	44
REFERÊNCIAS.....	45

1 INTRODUÇÃO

O Período do Quaternário, subdivisão mais recente da Era Cenozóica, representa os últimos 2,58 Ma (milhões de anos) e é oficialmente subdividido em duas Épocas, o Pleistoceno (de 2,58 Ma a 11,7 ka – mil anos) e o Holoceno (de 11,7 ka até os dias de hoje) (GIBBARD, 2015; LOWE; WALKER, 2014). O aspecto que diferencia o Quaternário dos demais períodos, não é somente a alternância de ciclos glaciais e interglaciais, mas a combinação da alta amplitude e frequência das oscilações climáticas com a intensidade dos períodos mais frios (ZACHOS *et al.*, 2001 *apud* LOWE; WALKER, 2014).

O desenvolvimento na paleoceanografia têm contribuído com avanços no entendimento da história dos oceanos e o seu papel no sistema climático. A paleoceanografia utiliza parâmetros físicos, químicos e biológicos encontrados em registros sedimentares marinhos (THOMAS, 2001), na elaboração de relações entre a variação de padrões apresentados por parâmetros oceanográficos ao longo do tempo e as respostas do sistema oceano-atmosfera.

A alta taxa de sedimentação e a boa condição de preservação dos carbonatos nos sedimentos do Mar Sul da China (SCS) evidência o potencial desta região para estudos de reconstrução paleoambiental (WANG, 1995; JIAN, *et al.*, 1995; WANG; LI, 2009). Adicionalmente, a estrutura semifechada desta bacia marginal amplia a sensibilidade á parâmetros ambientais dependentes da circulação atmosférica e a circulação superficial das águas, como os padrões de aporte terrígeno e produção primária, que respondem a forçantes externas do sistema climático da Terra (WANG *et al.*, 2014).

O Sistema de Monção do Leste Asiático (EAM) é um dos maiores componentes do sistema climático, e é resultante do aquecimento diferenciado entre o continente Asiático e da piscina de água quente do Pacífico. O EAM influencia diretamente a circulação atmosférica, oceânica e o regime das chuvas intensas de monções do SCS, que oscilam drasticamente em resposta a alternância sazonal do Sistema de Monção do Leste Asiático no inverno (EAMw) e no verão (EAMs) (WYRTKI, 1961; JIAN *et al.*, 2001; LIU *et al.*, 2002; WEBSTER *et al.*, 1987 *apud* BOULAY *et al.*, 2005). O EAMs e EAMw possuem intensidade e duração diferentes e afetam de formas distintas o aporte e

transporte de sedimentos terrígenos desta bacia marginal (BOULAY *et al.*, 2005; LIU *et al.*, 2016).

A combinação do grande aporte de sedimentos fluviais com a estrutura semi-fechada do SCS, torna esta bacia ideal para estudos de dinâmicas de transporte de sedimentos terrígenos (LIU *et al.*, 2016). Devido os sedimentos das principais bacias hidrográficas circundantes ao SCS serem produzidos em diferentes condições climáticas, tectônicas e litológicas, dispõem de uma assinatura geoquímica particular, o que fornece meios para diferenciar os processos de transporte dos mesmos (LIU *et al.*, 2016).

As mudanças no aporte de sedimentos terrígenos e na produtividade marinha influenciam o comportamento biogeoquímico de muitos elementos maiores (*i.e.*, Fe, Al, K, Ti) (GOVIN *et al.*, 2012) e traço (*i.e.*, P, N, Si, Ba) (PAYTAN; GRIFFITH, 2007), respectivamente. A partir da observação do comportamento destes elementos em circunstâncias distintas (*e.g.*, regiões com aporte continental e produção primária diferentes), é possível selecionar os indicadores (*proxies*¹) mais promissores para reconstituir mudanças no aporte de sedimentos terrígenos ao longo do tempo.

Dessa forma, esse estudo tem como objetivo principal melhor compreender a influência, ao longo de ciclos glaciais/interglaciais do Quaternário Superior (últimos 400 ka), do EAM na variação do aporte de sedimentos terrígenos com base em razões elementares em um registro sedimentar marinho (349-U1431D) coletado na bacia leste do SCS.

1.3 JUSTIFICATIVA

O SCS apresenta condições ideais para reconstituições paleoceanográficas devido a grande sensibilidade as mudanças nos parâmetros ambientais em resposta a forçantes externas registradas no assoalho oceânico (WANG *et al.*, 2014). O foco da grande maioria dos trabalhos realizados no SCS está na análise das oscilações de

¹ Segundo Wefer *et al.* (1999), *proxies* são variáveis mensuráveis utilizadas para inferir e compreender variáveis que não podem ser mensuradas diretamente. *p.e.* temperatura, salinidade, disponibilidade de nutrientes, produtividade.

temperatura nas águas superficiais (TSM) ao longo do Quaternário. No entanto, as relações entre variações da TSM no SCS e os ciclos glaciais/interglaciais do Quaternário têm sido debatidas, principalmente dada a existência de respostas indiretas da TSM ao EAM (p.e., HUANG; TIAN, 2012; TIAN *et al.*, 2010; WANG *et al.*, 2005 *apud* DONG, 2015).

A composição geoquímica dos sedimentos terrígenos depositados em ambientes marinhos pode refletir processos tectônicos e de intemperismo no continente, podendo também refletir o caminho de transporte destes sedimentos para o oceano (LIU *et al.*, 2016), auxiliando no entendimento das condições climáticas do continente adjacente. Com isso, relacionar as dinâmicas de transporte e deposição de sedimentos terrígenos no SCS com o EAM se torna fundamental para entender os mecanismos atuantes, como a pluviosidade e intemperismo, no SCS durante os ciclos glaciais/interglaciais do Quaternário Superior.

1.2 HIPÓTESE

Se o EAM influencia no aporte de sedimentos terrígenos para o SCS, então as razões elementares indicadoras de aporte terrígeno, como Ti/Ca, Fe/Ca, Ti/Al e Fe/K, ao longo do registro sedimentar do SCS irão aumentar (diminuir) nos períodos em que o regime do EAM for mais (menos) intenso.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo principal relacionar os resultados obtidos através das razões elementares Fe/Ca, Ti/Ca, Fe/K e Ti/Al no SCS com o EAM, a partir da comparação das variações de aporte terrígeno com registros paleoceanográficos e paleoclimáticos continentais ao longo do Quaternário superior.

1.3.2 Objetivos específicos

A fim de atingir o objetivo principal, propõem-se os seguintes objetivos específicos:

- (i) analisar as concentrações dos elementos (Ca, Fe, K, Ti e Al) em sedimentos de um registro sedimentar marinho coletado no SCS;
- (ii) aplicar as razões Fe/Ca, Ti/Ca, Fe/K e Ti/Al na reconstituição do aporte de sedimentos terrígenos para o SCS no Quaternário Superior;

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 FORÇANTES CLIMÁTICAS NO QUATERNÁRIO

Os períodos glaciais e interglaciais do Quaternário são controlados pela variação na quantidade de radiação solar recebida no planeta a partir de mudanças nos parâmetros orbitais da Terra. Neste contexto, o entendimento do padrão de incidência da radiação solar recebida em um determinado local e hora é um fator importante para a compreensão das variações observadas nos registros paleoclimáticos (LASKAR *et al.* 2004 *apud* LOWE; WALKER, 2014). As mudanças de insolação provenientes das variações orbitais da Terra são denominadas de ciclos de Millankovitch e são compostas por três oscilações: excentricidade, a obliquidade e a precessão.

A excentricidade descreve o grau da variação da órbita terrestre ao redor do sol, que varia de circular a elíptica e possui dois períodos principais: o primeiro com uma periodicidade de aproximadamente 100 mil anos; e o segundo, de aproximadamente 430 mil anos. A obliquidade é o ângulo em que o eixo da Terra está em relação ao seu plano orbital, que varia de 22,1 a 24,5 graus, com uma periodicidade de aproximadamente 41 mil anos. A precessão compreende o movimento da rotação do eixo da Terra, que não aponta para uma direção fixa no céu e sim, circula em sentido horário no espaço, com uma periodicidade de 19 mil a 23 mil anos (CAMPISANO, 2012).

Apesar das oscilações orbitais controlarem os principais parâmetros de influência nas dinâmicas climáticas, variações no sistema interno terrestre também conduzem o curso das mudanças climáticas no panorama global. Fatores responsáveis por modular

ou amplificar os efeitos das variáveis astronômicas abrangem mudanças na disposição dos continentes, atividade tectônica, mecanismos de *feedback* provenientes da circulação oceânica e alteração na extensão de geleiras (DENTON, 2000 *apud* LOWE; WALKER, 2014).

Durante os períodos de precessão e obliquidade, por exemplo, gases do efeito estufa (*i.e.*, CH₄ e CO₂) atuam de forma diferente nas calotas polares. Durante o período de precessão, os gases se tornam uma forçante adicional a insolação e durante o período de obliquidade, impulsionam um sistema de *feedback*, ou seja, a formação de gelo sequestra a quantidade de gás disponível na atmosfera, impulsionando a formação de mais gelo. Em contrapartida cada parcela de gelo que derrete contribui com o aumento das concentrações de CH₄ e CO₂ na atmosfera, levando a uma maior taxa de descongelamento (RUDDIMAN, 2006).

A construção gradual, e terminação repentina de eras do gelo com periodicidade de ~100 ka são amplamente conhecidas como uma característica dos últimos 400 ka. Em baixas latitudes, a insolação solar, controlada pelo ciclo de precessão da órbita terrestre (23 ka), é considerada o principal fator de controle da EAMs (BOULAY *et al.*, 2005). As terminações glaciais são caracterizadas por um ou dois intervalos de monções de menor intensidade e por períodos de menor precipitação, estes eventos coincidem com estadiais de Heinrich (HS), ou seja, com o transporte de detritos de gelo provenientes da América do Norte, observados em testemunhos marinhos da América do Norte (CHENG *et al.*, 2016a).

A partir dos resultados provenientes do modelo desenvolvido por Kutzbach *et al.* (2008), foi verificado que, apesar de alguns atrasos entre a resposta do sistema de monção e a forçante orbital, a precipitação proveniente do EAMs responde de forma positiva e intensa a insolação de verão. As chuvas de monção são controladas pela dinâmica térmica, como o contraste entre temperatura continental e oceânica, e pela dinâmica hidrológica, relacionada com a temperatura superficial dos oceanos, evaporação dos oceanos e transporte de vapor para o continente (KUTZBACH *et al.*, 2008).

Estudos da composição isotópica de oxigênio ($\delta^{18}\text{O}$) em espeleotemas de

cavernas chinesas também apontam relação entre mudanças na Monção Asiática (AM) com as alterações na insolação de verão do Hemisfério Norte em escalas orbitais (CHENG *et al.*, 2016a).

Durante o EAMs, uma célula de baixa pressão é formada no planalto do Tibete que contrasta com uma célula de alta pressão no oceano Índico, formando ventos sudoestes do oceano para o continente. Estes ventos trazem consigo umidade e chuvas intensas promovendo um clima úmido e quente no continente. Durante o EAMw, a célula de baixa pressão está no oceano Índico e os ventos sopram do interior do continente, caracterizado por condições frias e secas, para o oceano (TAMBURINI *et al.*, 2003) formando o EAM. Impulsionada pelos ventos sazonais de monção, a precipitação também é invertida entre o norte e o sul devido à mudança da Zona de Convergência Intertropical (ITCZ) (WANG *et al.*, 2003). No Sul da China e na Península da Indochina a precipitação anual é de 1700-2000 mm e em Luzon a precipitação anual é 1900-2100 mm, com aproximadamente 85-90% da precipitação anual decorrendo durante a estação de monção de verão (LIU *et al.*, 2016).

De maneira geral, durante períodos glaciais, a intensidade da EAMs é mais fraca enquanto o EAMw é mais intensa (WANG; WANG, 1990; MIAO *et al.*, 1994; CLEMENS *et al.*, 1996; PFLAUMANN; JIAN, 1999) enquanto os períodos interglaciais são caracterizados pelo fortalecimento da EAMs combinado com o aumento da intensidade dos ventos sudoeste e de precipitação sobre o continente (AN *et al.*, 1990; MORLEY; HEUSEUR, 1997; LU *et al.*, 1999; WANG *et al.*, 1999).

2.2 RAZÕES ELEMENTARES EM SEDIMENTOS MARINHOS

A composição elementar dos sedimentos marinhos fornece informações sobre a entrada de sedimentos terrígenos no ambiente marinho (GOVIN *et al.*, 2012). É importante ressaltar que a utilização de razões elementares é recomendada uma vez que as concentrações dos elementos isolados apresentam interdependência e podendo ser diretamente influenciadas por efeitos da diluição (GOVIN *et al.*, 2012). A fim de estimar o aporte de material terrígeno, é possível aplicar razões elementares entre constituintes

primariamente terrígenos (Fe e Ti) em relação ao contribuinte marinho (Ca), ou seja, razões Fe/Ca e Ti/Ca (GOVIN *et al.*, 2012).

A razão Ti/Al é utilizada como *proxy* de tipos de transporte de aporte terrígeno, lendo que valores altos desta razão indicam maior contribuição de transporte via eólica em comparação ao transporte fluvial de material em suspensão (GOVIN *et al.*, 2012). Ainda, valores altos da razão Fe/K em sedimentos marinhos podem indicar o aporte de material altamente intemperizado oriundo de regiões tropicais úmidas, enquanto valores baixos refletem o aporte de material pouco intemperizado formado em condições mais secas. (GOVIN *et al.*, 2012).

3 ÁREA DE ESTUDO

O SCS, a maior bacia marginal no oeste do Pacífico, abrange uma área de $3,5 \times 10^6$ km² e estende-se por mais de 20 graus de latitude, partindo do Trópico de Câncer ao Equador (Figura 1) (WANG *et al.*, 1995). O SCS é dividido em três zonas: a bacia oceânica, o talude e a plataforma continental, cobrindo, respectivamente, 15%, 38% e 47% de sua área total. A profundidade média da bacia oceânica é aproximadamente 4700m, e a profundidade máxima reportada não oficialmente, é referente a 5559 m em sua margem leste (WANG; LI, 2009).

Por estar localizado entre a Ásia, maior continente, e o oceano Pacífico, maior oceano, o SCS atua como uma importante zona de interação entre o oceano e a atmosfera (Figura 1) (WANG; LI, 2009).

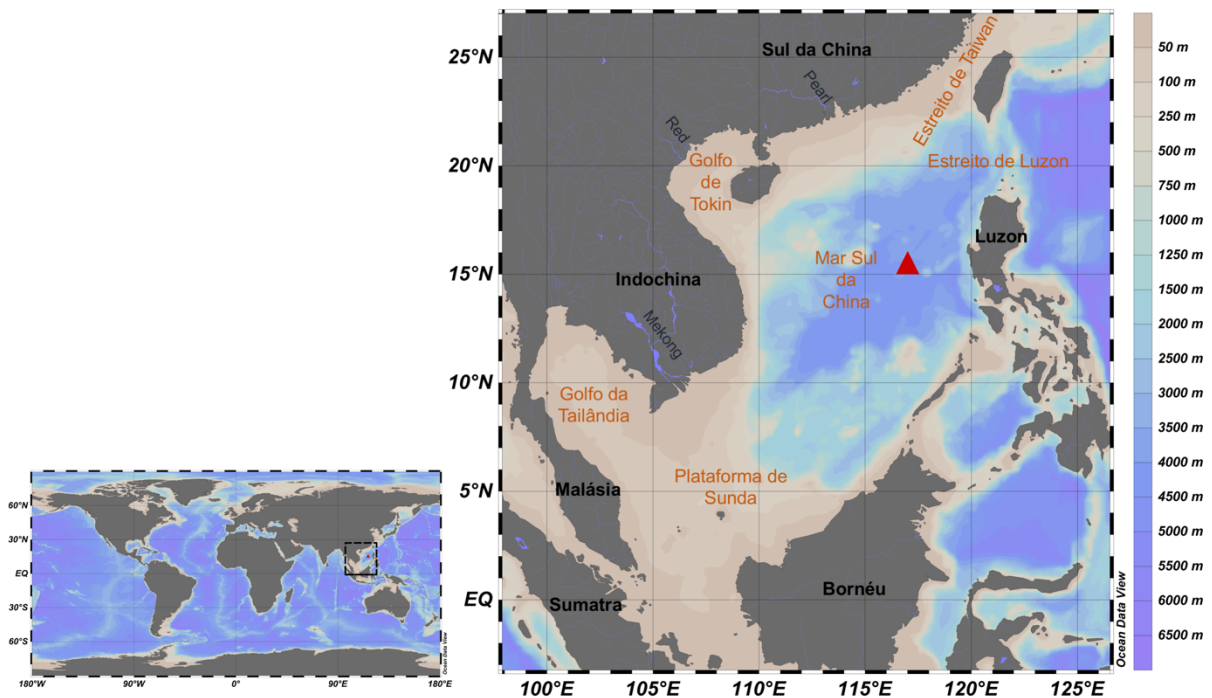


Figura 1 - Mapa batimétrico da região do Mar da China, o triângulo vermelho representa o ponto de coleta do testemunho 349-U1431D que foi analisado neste trabalho.

O SCS é um excelente estudo de caso para melhor compreender origem e dinâmica de processos de transporte de sedimentos entre os mares marginais ao redor do mundo (LIU *et al.*, 2016). Sendo circundado por Taiwan e a região do Sul da China ao norte, pela região da Indochina a oeste, pelas ilhas Sumatra e Bornéu, localizadas na Indonésia e Malásia, ao sul e pela ilha de Luzon nas Filipinas pelo leste (Figura 1), o SCS recebe mais de 700 milhões de toneladas (t) de sedimentos fluviais por ano. Os rios provenientes das regiões ao redor do SCS incluem alguns dos maiores rios do mundo, como o rio Pearl, o rio Red e o rio Mekong. Devido a grande quantidade de aporte terrígeno fluvial na região, o SCS é considerado o maior depósito de sedimentos fluviais entre as bacias marginais semifechadas do mundo (LIU *et al.*, 2016). Ao entrar no SCS, os sedimentos provenientes dos rios são conduzidos por diferentes correntes costeiras, superficiais e profundas, que estão relacionadas com os ventos da EAM, com a intrusão da Corrente de Kuroshio e com as águas profundas do Pacífico ocidental através do Estreito de Luzon (LIU *et al.*, 2016).

A circulação superficial das águas é controlada pela configuração da bacia, topograficamente, a parte sul do SCS é uma plataforma rasa e a parte norte do SCS possui dois canais de conexão com o mar aberto, o estreito de Taiwan e o estreito de Luzon com profundidades próximas a 70 e 2400 m, respectivamente. No lado leste está o estreito de Mindora, conectado com o Mar Sulu e o estreito de Balabac com profundidade de 450 e 100 m. As águas superficiais do SCS transitam livremente pelos mares vizinhos, no entanto, as águas profundas são provenientes principalmente do mar oeste das Filipinas e fluem em direção ao SCS pelo estreito de Luzon. Durante a Última Máximo Glacial (LGM), período correspondente à maior extensão dos mantos de gelo durante o último período glacial, há aproximadamente 20000 anos (CLARK *et al.*, 2009), quando o nível médio do mar global regrediu aproximadamente 100 a 120 m, a parte sul do SCS, por ser uma plataforma rasa, emergiu e todas as conexões ao sul da bacia se fecharam, tornando o estreito de Luzon a única conexão entre o SCS e o oceano aberto (WANG *et al.*, 1995).

O clima, a hidrografia, a distribuição da produção primária e as dinâmicas de transporte e deposição no SCS são controlados majoritariamente pelo EAM, que é caracterizado pela sua distinção sazonal. (JIAN *et al.*, 2001; SU *et al.*, 2013). A alternância sazonal do EAM rege a reversão semi-anual da circulação das águas superficiais no sentido horário durante a monção sudoeste prevalecente, ou EAMs (de junho á agosto), e no sentido anti-horário durante a monção nordeste, ou EAMw (de dezembro á fevereiro) (WYRTKI, 1961; WANG *et al.*, 1995; JIAN *et al.*, 2001).

4 MATERIAL E MÉTODOS

O testemunho 349-U1331D foi coletado em 15°22.538'N e 117°00.'022'E, na profundidade de 4240 m (Figura 1), a bordo do R/V *Joides Resolution* durante a Expedição 349-South China Sea Tectonics do International Ocean Discovery Program (IODP), realizada entre 26 de Janeiro e 30 de Março de 2014. O furo 349-U1431D recuperou 410 m da coluna sedimentar, com o auxílio de um XCB (*Extended Core Barrel*) (LI *et al.*, 2015). Para este projeto foram selecionadas amostras coletadas nos primeiros

20 m da coluna sedimentar recuperada no furo 349-U1431D.

4.1 CRONOLOGIA

A cronologia dos primeiros 20 m do testemunho 349-U1431D foi determinada com base na taxa de sedimentação linear obtida a partir dos dados bioestratigráficos gerados a bordo do R/V *Joides Resolution* durante a Expedição 349, disponíveis em Li *et al.* (2015). Durante a expedição, amostras de *core catcher* foram analisadas quanto a seu conteúdo de nanofósseis calcários, foraminíferos plantônicos, e radiolários. Os eventos bioestratigráficos, principalmente *datum* de primeira (FAD; ou base) e última (LAD; ou topo) aparição de espécies diagnósticas encontram-se alinhados com idades calibradas por Gradstein *et al.* (2012). Os bioeventos e suas idades correspondentes encontram-se nas Figuras F11, F12 e F13 de Li *et al.* (2015).

4.2 PROPRIEDADES FÍSICAS CONTÍNUAS

Medidas contínuas de propriedades físicas em registros sedimentares marinhos são utilizados como base na maioria dos estudos paleoceanográficos (ST-ONGE *et al.*, 2007). Os métodos aplicados nestas medidas geralmente fornecem um método rápido e não destrutivo de caracterizar a natureza e composição de longas sequências sedimentares e refletem o estado prístino dos sedimentos (ST-ONGE *et al.*, 2007).

As propriedades físicas medidas continuamente incluem entre outros parâmetros, a susceptibilidade magnética e a emissão de radiação natural gama. A primeira, sensível ao conteúdo de minerais magnéticos e a mineralogia dos sedimentos, auxilia na identificação de litologias específicas, como cinzas vulcânicas e rochas ígneas (LI *et al.*, 2015), enquanto valores de emissão de radiação natural gama (Natural Gamma Radiation -NGR) estão associados com o tamanho dos grãos. Valores mais altos de NGR evidenciam a presença de silte e lama ($\sim 40 - 70$ contagens/s⁻¹), valores mais baixos de areia ($\sim 0 - 20$ contagens/s⁻¹), e valores ainda mais baixos estão relacionados com a presença de basalto ($\sim 0-5$ contagens/s⁻¹) (RUSSELL, 1944 *apud* LI *et al.*, 2015).

As medidas de susceptibilidade magnética ($\times 10^{-5}$ SI) e de NGR (contagens/s⁻¹) foram obtidas ao longo do testemunho fechado com o auxílio de um utilizando o *Whole-Round Multisensor Logger* (WRMSL) a bordo do R/V *Joides Resolution* (LI *et al.*, 2015).

4.3 RAZÕES ELEMENTARES EM SEDIMENTOS MARINHOS

4.3.1 Assinatura geoquímica de sedimentos superficiais do SCS

Neste trabalho optamos por melhor compreender a distribuição das razões elementares Ti/Ca, Fe/Ca, Ti/Al e Fe/K nos sedimentos superficiais do SCS, uma vez que estas são as razões usualmente utilizadas em reconstituições paleoclimáticas (GOVIN *et al.*, 2012). A assinatura geoquímica de sedimentos superficiais do SCS foi obtida através do cálculo das razões elementares Fe/Ca, Ti/Ca, Fe/K e Ti/Al, seguindo Govin *et al.* (2012). A melhor compreensão das fontes de sedimentos terrígenos para o SCS no presente e de suas assinaturas geoquímicas possibilita a aplicação destas razões elementares no entendimento do aporte de sedimentos terrígenos para o SCS nos últimos 400 ka.

Os dados de concentração de elementos maiores em sedimentos superficiais do SCS (WEI *et al.*, 2016) e dos principais rios ao redor do SCS (LIU *et al.*, 2016) foram obtidos na base de dados do PANGAEA (<https://pangea.de>). As razões elementares alvo (*i.e.*, Fe/Ca, Ti/Ca, Fe/K, Ti/Al) foram calculadas e os mapas de distribuição espacial foram confeccionados utilizando o software *Ocean Data View* (SCHLITZER, 2016). Com base nos dados de Liu *et al.* (2016) as assinaturas geoquímicas dos principais rios ao redor do SCS foram calculadas para a matriz sedimentar *bulk* (<63 μ m).

4.3.2 Digestão total de sedimentos do testemunho 349-U1431D

As concentrações de elementos nas amostras sedimentares do testemunho 349-U1431D foram obtidas a partir da digestão total dos sedimentos, seguindo o procedimento da SW-846 3052 (USEPA, 1996) (Figura 2). A determinação da

concentração de metais nas amostras digeridas foi realizada através da técnica de espectrometria de emissão ótica com plasma induzido com o auxílio do equipamento ICP-OES da Varian, modelo 710-ES no IO/USP.

Aproximadamente 0,07 g de sedimento foram pesados e colocados em unidades digestoras de Teflon[®]. Em seguida, foram adicionados 10 mL de ácido nítrico concentrado (HNO₃), 4 mL de ácido fluorídrico (HF) e 3 mL de peróxido de hidrogênio (H₂O₂). Em amostras não completamente digeridas (*i.e.*, presença de resíduo sólido) foi adicionado mais 1 mL de HF. As amostras foram introduzidas em um sistema fechado de micro-ondas após o acréscimo de cada reagente. A principal função dos reagentes adicionados é a eliminação de matéria orgânica, carbonatos e minerais da amostra, sendo o HF responsável pela dissolução dos silicatos e o H₂O₂ pela oxidação da matéria orgânica. Após este processo, as amostras foram transferidas das unidades digestoras para béqueres de Teflon[®], certificando-se, com uma última lavagem de HNO₃ 5% que todo o conteúdo da amostra foi transferido para os béqueres. Em seguida os béqueres foram colocados em uma chapa aquecedora a aproximadamente 150 °C até que o volume das amostras fosse reduzido a um volume de ~ 0,05 ml. As amostras foram então diluídas com 10 mL de HNO₃ 5% e colocadas novamente na chapa aquecedora para uma segunda evaporação. Após a segunda evaporação, o conteúdo final foi filtrado, transferido para tubos Falcon[®] de 15 ml. As amostras digeridas foram mantidas em ambiente refrigerado até a análise pelo ICP-OES.

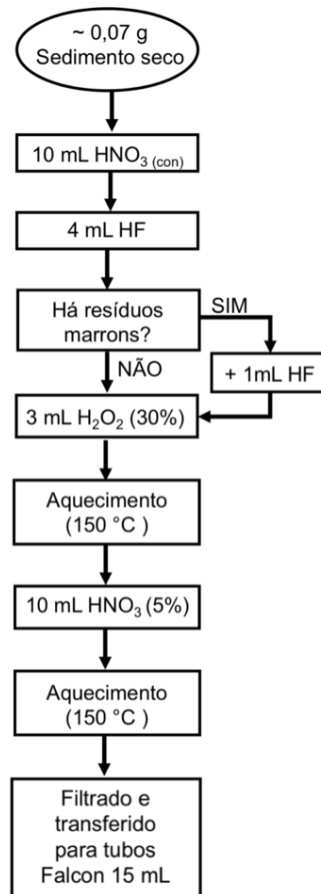


Figura 2 - Fluxograma do método de digestão total de sedimentos baseado no método SW-846 3052 (USEPA, 1996).

Os dados referentes ao aporte de material terrígeno no testemunho ao longo do Quaternário foram obtidos através da aplicação das razões elementares Fe/Ca, Ti/Ca, Ti/Al e Fe/K em amostras de sedimento.

5 RESULTADOS

5.1 CRONOLOGIA

Os dados da bioestratigrafia com base em nanofósseis calcários, foraminíferos plantônicos e radiolários dos primeiros 20 m do testemunho 349-U1431D revelam que

esta porção do testemunho corresponde a Época Pleistoceno (Tabela 1). A preservação de nanofósseis calcários e foraminíferos planctônicos durante o período do Pleistoceno varia de boa a moderada, propiciando uma bioestatigrafia robusta deste período (LIU *et al.*, 2015). A partir da aparição da *Emiliana Huxleyi* (espécie marcada para zona NN21) o registro sedimentar foi considerado como Pleistoceno tardio. O topo da zona NN19 é definido a partir do reconhecimento da última aparição da *Pseudoemiliana lacunosa* na amostra 2H-CC (1215 cm). A zona NN19 é dividida por seis eventos nanofósseis (Tabela 1).

O topo da zona NN18 é caracterizada pela última aparição da *Discoaster brouweri* na amostra 12H-CC (10757 cm). A última aparição da *Discoaster pentaradiatus* indica o topo da zona NN17, no entanto, este evento não pode ser identificado pela amostra ter sido retrabalhada. A *Discoaster pentaradiatus* ocorre de forma abundante assim como os fósseis retrabalhados das amostras 10H até a 13H (8901-11685 cm), posicionados na seção mais recente do local de perfuração do testemunho, aonde fósseis diagnosticados como mais recentes estão presentes (e.g., *Gephyrocapsa* spp. (>5.5 µm) e *Discoaster triradiatus*). O topo da zona NN16 é definido a partir da última aparição da *Discoaster surculus*, que ocorre na amostra 15H-CC (13520 cm) (Tabela 1).

Tabela 1 – Profundidade (cm) e idade (ka) dos eventos de aparecimento de nanofósseis calcáreos, radiolários e foraminíferos planctônicos para a Época Pleistoceno do testemunho 349-U1431D (fonte: LI et al., 2015).

Época	Biozona (Martini, 1971)	Evento de nanofóssil calcáreo	Testemunho, seção, intervalo (cm)	Profundidade no testemunho (cm)	Idade (ka)
Pleistoceno	NN21/NN20	B <i>Emiliana huxleyi</i>	1H-CC	315	290
	NN20/NN19	T <i>Pseudoemiliana lacunosa</i>	2H-CC	1215	440
		T <i>Gephyrocapsa</i> sp. 3	4H-CC	3208	610
		T <i>Gephyrocapsa</i> sp. 3	5H-6,47	3967	1020
	NN19	B <i>Gephyrocapsa</i> spp. >4 µm (reemG event)	6H-CC	5090	1040
		T <i>Gephyrocapsa</i> spp. >5.5 µm	8H-1,50	6070	1240
		T <i>Calcidiscus macintyrei</i>	10H-CC	8901	1600
		T <i>Gephyrocapsa</i> spp. >5.5 µm	11H-CC	9610	1620
	NN11	B <i>Gephyrocapsa</i> spp. >5.5 µm	12H-CC	10757	1930
	NN19/NN18	T <i>Discoaster brouweri</i>	13H-CC	11685	2220
NN18	Ba <i>Discoaster triradiatus</i>	13H-CC	11685	2220	
NN17/NN16	T <i>Discoaster surculus</i>	15H-CC	13520	2490	
Época	Biozona (Wang and Abelmann, 1999; Sanfilippo and Nigrini, 1998)	Evento de radiolaria	Testemunho, seção, intervalo (cm)	Profundidade no testemunho (cm)	Idade (ka)
Pleistoceno	NR1	B <i>Buccinosphaera invaginata</i>	1H-CC	316	210
	NR2	B <i>Collosphaera tuberosa</i>	2H-CC	1215	420
Época	Biozona (Berggren et al., 1995; Wade et al., 2011)	Evento de foraminífero planctônico	Testemunho, seção, intervalo (cm)	Profundidade no testemunho (cm)	Idade (ka)
Pleistoceno	PT1b	T <i>Globigerinoides ruber rosa</i>	3H-CC	2211	120
	PT1b/PT1a	B <i>Globigerinella calida</i>	3H-CC	2211	220
		T <i>Globorotalia tosaensis</i>	7H-CC	5853	610
	PL6	T <i>Globigerinoides extremus</i>	11H-5, 140-142	9610	1980

T = topo/*datum* de última aparição, B = base/*datum* de primeira aparição

Na correlação linear da taxa de sedimentação para a Época Pleistoceno ao longo dos primeiros 20 m do testemunho 349-U1431D (Figura 3), foi elaborada uma correlação entre a idade e a profundidade do registro sedimentar, resultando na taxa de sedimentação referente a 5,32 cm ka⁻¹.

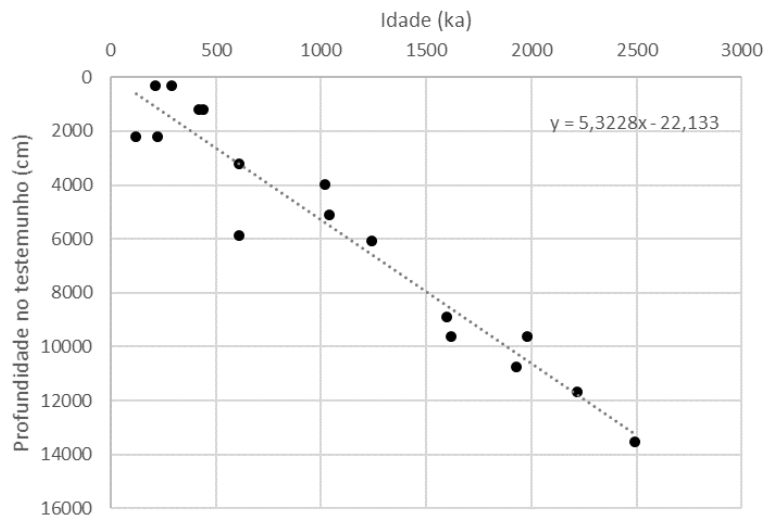


Figura 3- Modelo de idade dos primeiros 20 m do testemunho 349-U1431D (Época Pleistoceno)

5.2 PROPRIEDADES FÍSICAS

Os dados de *natural gamma ray* (NGR) obtidos ao longo do testemunho 349-U1431D apresenta valor médio de 35,57 contagens/s, oscilando entre 19,15 e 50,34 contagens/s, em 105 e 201 ka, respectivamente (Figura 4). A NGR apresenta maiores valores (> 40 contagens/s⁻¹) durante os interglaciais (MIS 9, MIS 7 e MIS 1) e ao longo dos glaciais (MIS 8 e MIS 6). Os valores mais baixos (< 35 contagens/s⁻¹) foram registrados nos interglaciais (MIS 11, MIS 5 e MIS 3) e durante os glaciais (MIS 10, MIS 4 e MIS 2) (Figura 4).

A suscetibilidade magnética (SM) medida no testemunho 349-U1431D apresenta o valor médio de aproximadamente $39,1 \times 10^{-5}$ SI, variando de 7,4 a $335,2 \times 10^{-5}$ SI em 395 e 376 ka, respectivamente (Figura 4).

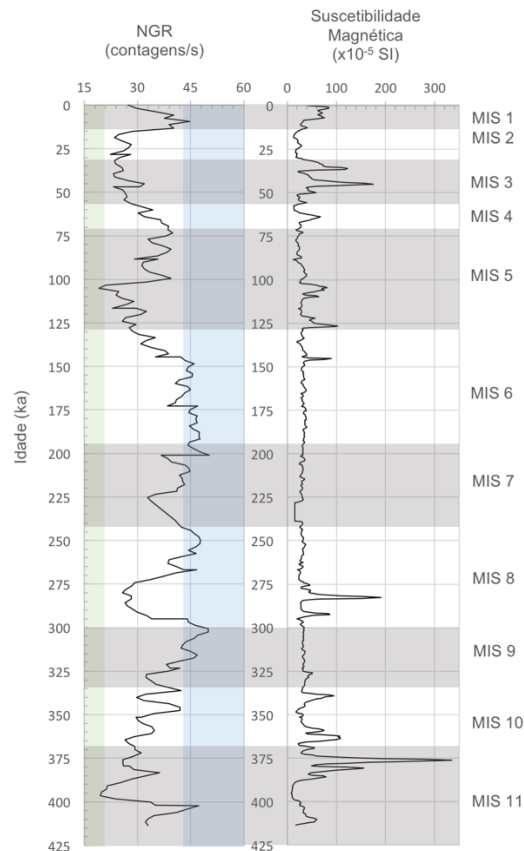


Figura 4- Valores de suscetibilidade magnética e NGR sobrepostos e ampliados (a). Valores de natural *gamma ray* (NGR – contagens/s⁻¹) e suscetibilidade magnética (SM - $\times 10^{-5}$ SI) ao longo dos primeiros 20 m do testemunho 349-U1431D. As faixas cinzas correspondem aos estágios isotópicos marinhos (MIS) interglaciais, considerando os limites dos MIS com base em Lisiecki e Raymo (2005).

5.3 ELEMENTOS MAIORES EM SEDIMENTOS MARINHOS

5.3.1 Assinatura geoquímica dos sedimentos superficiais do SCS

Os valores médios das razões elementares Ti/Ca, Fe/Ca, Ti/Al, Fe/K e Al/K das principais bacias hidrográficas e regiões contribuintes de material terrígeno para o SCS no Presente (Rios de Taiwan, Tailândia, Península da Malásia, Sumatra, Bornéu e Luzon e dos rios Pearl, Red e Mekong) são apresentados na Tabela 2 e estão representados na Figura 5.

Tabela 2. Valores médios das razões elementares Ti/Ca, Fe/Ca, Ti/Al e Fe/K, consideradas como proxies de aporte de sedimentos terrígenos, em sedimentos na fração bulk (<63µm) coletados nas principais bacias de drenagem dos continentes e ilhas adjacentes ao SCS, os dados originais utilizados para o cálculo das médias foram retirados de Liu et al. (2016).

	Ti/Ca	Fe/Ca	Ti/Al	Fe/K	Al/K
Rios de Taiwan	4,121	31,019	0,051	2,150	5,731
Rio Pearl	1,985	15,089	0,055	3,095	7,561
Rio Red	1,444	10,678	0,062	2,773	5,828
Rio Mekong	2,484	16,870	0,056	2,620	6,918
Rios da Tailândia	5,429	32,604	0,054	2,810	8,911
Rios da Malásia	7,301	51,060	0,036	2,351	9,502
Rios da Sumatra	9,195	49,797	0,049	4,663	15,476
Rios de Bornéu	7,417	46,345	0,054	2,661	7,906
Rios de Luzon	0,261	2,967	0,043	9,248	27,807

Os maiores valores da razão Ti/Ca ocorrem na região da Sumatra (9,0) e em Bornéu (7,4), e os menores valores (< 2,0) encontram-se nos rios Pearl (1,98), Red (1,5) e Luzon (0,2) (Figura 5a). A razão Fe/Ca apresenta valores mais altos nos sedimentos da Malásia (aproximadamente 51,1) e da Tailândia (32), a oeste da região da Indochina, e os menores valores provenientes dos rios Pearl (aproximadamente 15,1), Red (10,7) e de Luzon (3,0) (Figura 5b).

Os maiores valores da razão Ti/Al são observados nos rios Red e Mekong (0,06 e 0,56, respectivamente), e o valor mais baixo seria material referente da Malásia com valor médio de 0,36 (Figura 5c).

A razão Fe/K apresenta maiores valores em Luzon (aproximadamente 9,25) e em Sumatra (4,70) e menores valores na Malásia e em Taiwan (2,35 e 2,15, respectivamente) (Figura 5d). Também em Luzon e Sumatra estão os maiores valores da Al/K (27,8 e 15,5, respectivamente) e os menores valores no rio Red (5,8) e em Taiwan (5,7) (Figura 5e).

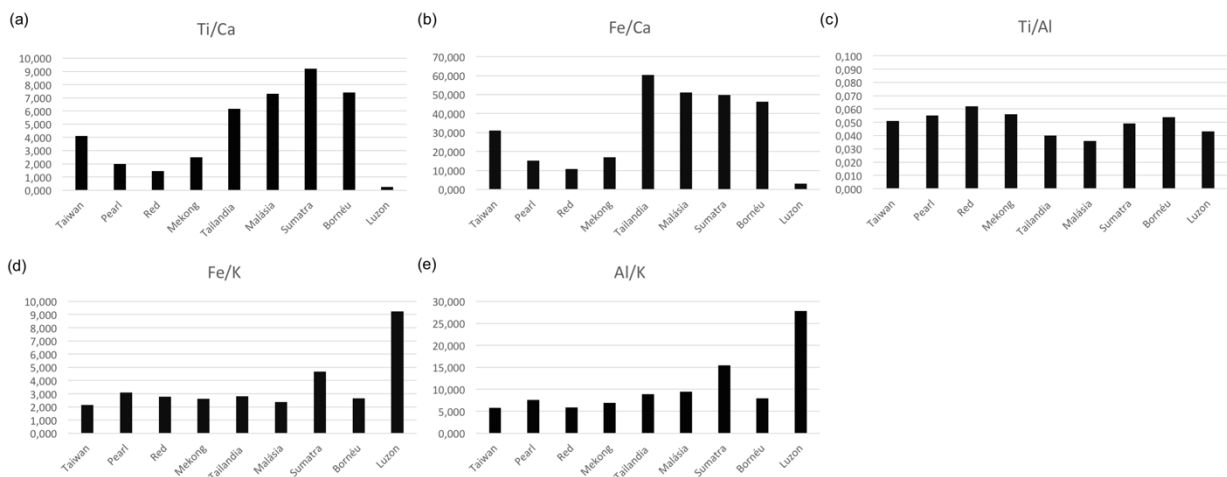


Figura 5 – Histogramas com valores médios das razões elementares (a) Ti/Ca, (b) Fe/Ca, (c) Ti/Al, (d) Fe/K e (e) Al/K das principais bacias hidrográficas e regiões contribuintes de material terrígeno para o SCS no Presente (Rios de Taiwan, Tailândia, Península da Malásia, ilhas de Sumatra, Bornéu e Luzon e dos rios Pearl, Red e Mekong).

Os sedimentos superficiais do SCS apresentam valores médios da razão elementar Ti/Ca de aproximadamente 1,25, variando de 0,01 a 5,00 (Figura 6a). Os menores valores são observados nas regiões mais profundas da bacia e os maiores, no nordeste do SCS próximo a Luzon e Taiwan (Figura 6a). Os valores médios da razão elementar Fe/Ca nos sedimentos superficiais do SCS são de ~7,52, oscilando entre 0,09 e 31,6 (Figura 6b). Assim como a razão Ti/Ca, os menores valores da razão Fe/Ca encontram-se nas regiões mais profundas da bacia, enquanto os maiores valores no Golfo de Tokin e próximos a Taiwan (Figura 6b).

O valor médio da razão Ti/Al nos sedimentos superficiais é de aproximadamente 0,07, variando entre 0,02 e 0,11 (Figura 6c). Na porção leste do SCS, próximo a Luzon, são encontrados os menores valores e os maiores valores estão nas proximidades de Taiwan e de Bornéu, na porção noroeste e sul do SCS, respectivamente.

A razão elemental Fe/K apresenta valores médios de aproximadamente 2,12, variando de 0,96 a 4,08 nos sedimentos superficiais do SCS (Figura 6d). Os menores valores da razão Fe/K são registrados na porção norte do SCS, próximo ao Sul da China e Taiwan, na costa de Guangdong e valores relativamente maiores são encontrados nas proximidades de Bornéu (Figura 6d).

A distribuição da razão Al/K apresenta valores próximos a 4,00, variando de aproximadamente 2,00 a 10,00 nos sedimentos superficiais do SCS (Figura 6e). Os menores valores da razão Fe/K são registrados na parte sul do SCS, e os maiores valores são encontrados nas proximidades de Luzon (Figura 6e).

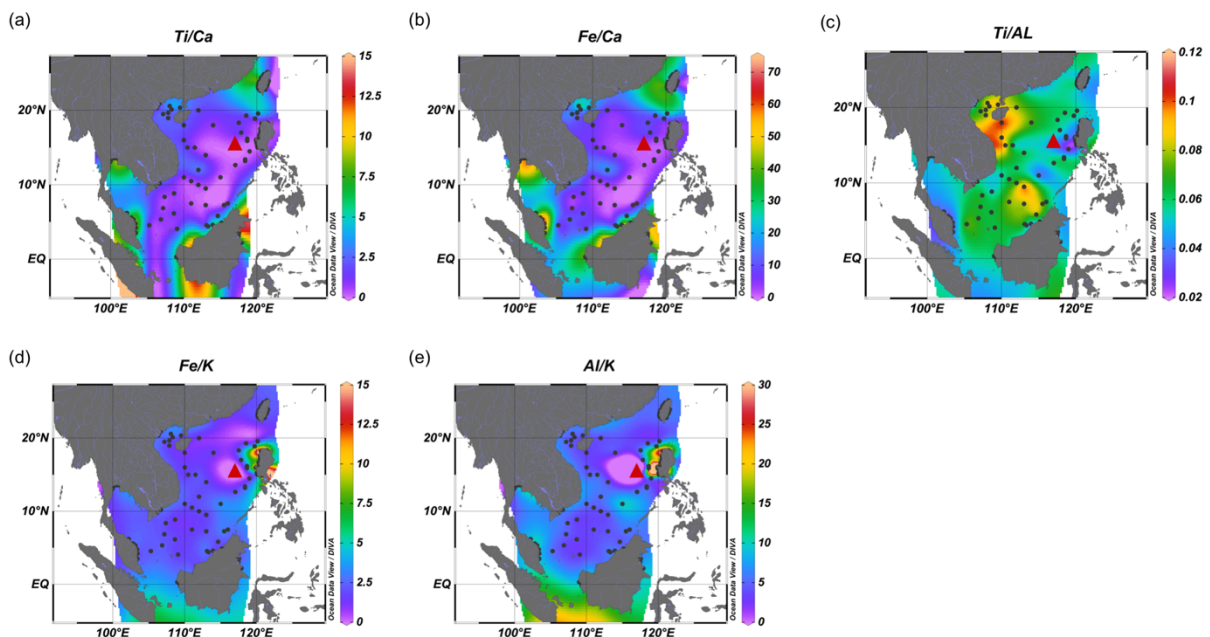


Figura 6 - Distribuição dos valores médios das razões elementares (a) Ti/Ca, (b) Fe/Ca e (c) Ti/Al (d) Fe/K e (e) Al/K em sedimentos na fração *bulk* (<63 μ m) de bacias hidrográficas adjacentes ao SCS (com base em Liu *et al.* (2016)) e nos sedimentos superficiais do SCS (com base em Wei *et al.* (2016)), pontos pretos indicam os locais de coleta de Liu *et al.* (2016) e Wei *et al.* (2016) e o ponto de coleta do testemunho 349-U1431D é representado pelo triângulo vermelho.

5.3.2. Razões elementares ao longo do testemunho 349-U1431D

Ao longo do testemunho 349-U1431D o elemento Fe apresentou valores médios de aproximadamente 30660 mg/kg^{-1} , variando entre 6599 mg/kg^{-1} e 48623 mg/kg^{-1} (Figura 7). Os maiores valores ocorrem no MIS 11 e no MIS 6 e os menores valores foram registrados no MIS 11 (em 390 ka), e entre o MIS 9 e MIS 8 (em 299 ka). O teor de K variou entre 3961 e 24263 mg/kg^{-1} (em 390 e 60 ka, respectivamente) com valores médios de 15997 mg/kg^{-1} (Figura 7). O maior valor ocorre no MIS 11 (em 374 ka) e os menores valores ocorrem no MIS 6 (em 60 ka) e em 299 ka (entre o MIS 9 e o MIS 8).

O elemento Al apresenta valores que variam de 2539 a 76658 mg/kg^{-1} , em 116 ka e 399 ka, respectivamente, com valores médios de 46231 mg/kg^{-1} (Figura 7). Os maiores valores são observados no MIS 11, MIS 6 e MIS 4. E os menores valores que se destacam estão no MIS 5 em aproximadamente 116 ka.

Os valores de concentração do elemento Ca variam de 5856 a 41822 mg/kg^{-1} , em 95 e 110 ka, respectivamente (Figura 7). Os valores oscilam próximos ao valor médio de 19644 mg/kg^{-1} .

A distribuição do elemento Ti ao longo do registro sedimentar oscila de $404,1$ a $3473,29 \text{ mg/kg}$, em 399 e 95 ka, respectivamente (Figura 7), com a maioria dos valores registrados oscilando próximos ao valor médio ao longo do testemunho de $2306,143 \text{ mg/kg}^{-1}$.

Os valores da razão elementar Ti/Ca variam de $0,025$ a $0,489$, em 103 e 95 ka, respectivamente, com valores médios de $0,170$ (Figura 7). Os maiores valores foram registrados no início do MIS 9 e final do MIS 8, em 307 e 294 ka, respectivamente. No MIS 6 há um aumento nos valores da razão Ti/Ca em aproximadamente 138 ka e durante o MIS 5 (em 95 e 75 ka). A razão Fe/Ca segue o mesmo padrão de distribuição da razão Ti/Ca, com maiores valores durante o MIS 9, MIS 8, MIS 6 e no MIS 5 (Figura 7).

A razão Fe/K varia aproximadamente de $1,2$ a $2,6$ em 31 e 374 ka, respectivamente, com valor médio de $1,9$ (Figura 7). Valores acima da média foram registrados durante o MIS 11, MIS 9 e abaixo, no MIS 3.

Os valores da razão elementar Ti/Al variam de 0,023 a 0,067, em 31 e 307 ka, respetivamente, com valor médio de aproximadamente 0,490 (Figura 7). Os maiores valores desta razão são observados no MIS 11, no MIS 9 e abaixo no MIS 3.

O valor médio da razão Al/K ao longo do testemunho é de aproximadamente 3,02 (Figura 7). A razão Al/K apresenta menor valor (1,99) e maior valor (4,23) em 139 e 375 ka, respetivamente (Figura 7). Os maiores valores foram observados nos interglaciais e menores valores no MIS 6 em 139 e 192 ka.

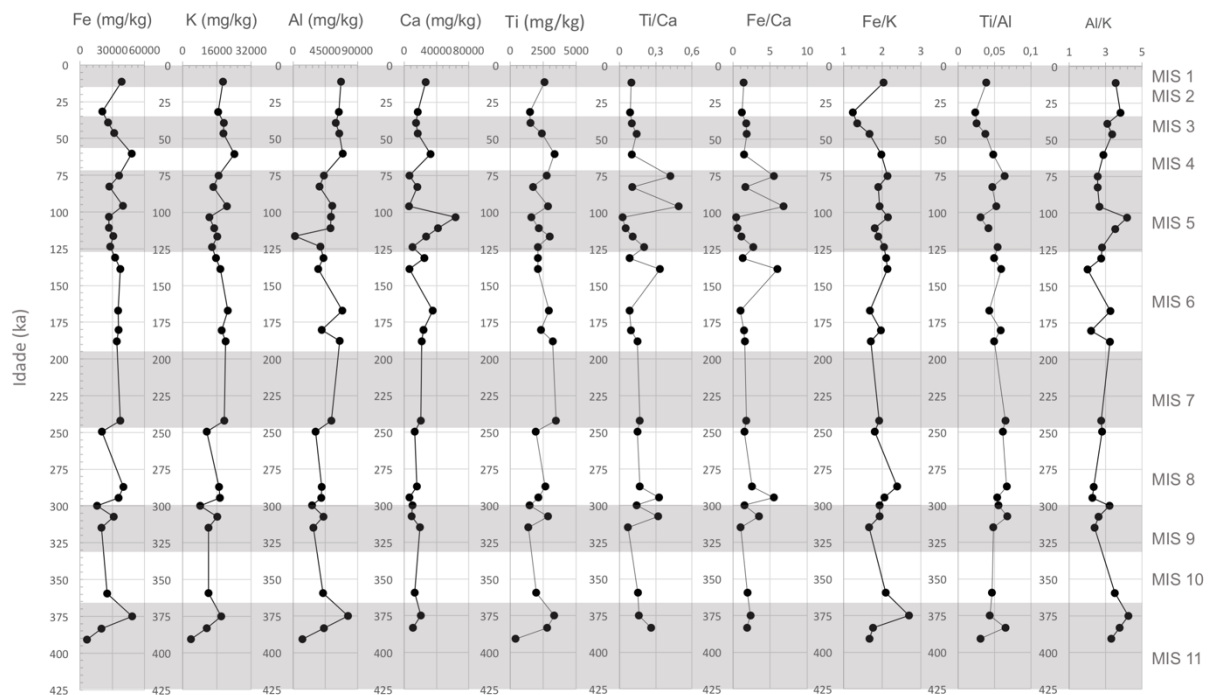


Figura 7 - Concentrações (mg/kg) dos elementos Al, Ca, Fe, K, Sc e Ti, e razões elementares Fe/Ca, Ti/Ca, Fe/K, Ti/Al, Al/K ao longo dos primeiros 20 m do testemunho 349-U1431D. As faixas cinzas correspondem aos estágios isotópicos marinhos (MIS) interglaciais, os limites dos MIS com base em Lisiecki e Raymo (2005).

6 DISCUSSÃO

A avaliação conjunta da variação de propriedades físicas (NRG e SM) e de razões elementares (Ti/Ca, Fe/Ca, Ti/Al, Fe/K e Al/K) ao longo do testemunho 349-U1431D, coletado na região de mar profundo do SCS, permitiu inferir sobre mudanças no aporte de sedimentos terrígenos para esta bacia nos últimos 400 ka (Figura 9). A obtenção da assinatura geoquímica dos sedimentos de bacias hidrográficas adjacentes e de sedimentos superficiais do SCS, possibilitou inferir sobre a origem dos sedimentos (terrígeno *versus* marinho) e sua fonte potencial, e a presença de camadas de cinza vulcânica no SCS ao longo dos ciclos glaciais/interglaciais do Quaternário Superior.

6.1 ASSINATURA GEOQUÍMICA DOS SEDIMENTOS SUPERFICIAIS DO SCS: IMPLICAÇÕES PALEOCEANOGRÁFICAS E PALEOCLIMÁTICAS

A distribuição dos sedimentos superficiais do SCS, suas características geoquímicas e mineralógicas, está diretamente relacionada com os sistemas de drenagem do continente adjacente ao SCS e a hidrodinâmica desta bacia marginal (LIU *et al.*, 2016). A porção sul do SCS recebe aporte significativo de sedimentos em suspensão ($>450 \times 10^6$ t/ano) provenientes da Sumatra e Bornéu, enquanto ao norte os principais contribuintes são Taiwan (176×10^6 t/ano) e o sul da China (102×10^6 t/ano, LIU *et al.*, 2016) (Figura 8).

As razões Fe/Ca e Ti/Ca são amplamente utilizadas como traçadoras de mudanças no aporte de sedimentos terrígenos para oceano, uma vez que Fe e Ti estão associados a componentes siliciclásticos dos sedimentos, enquanto o Ca representa o conteúdo de carbonato de cálcio presente nos sedimentos, representando os componentes biogênicos (GOVIN *et al.*, 2012). A distribuição das razões Fe/Ca e Ti/Ca nos sedimentos superficiais do SCS concordam com esta análise, com maiores valores das razões Fe/Ca e Ti/Ca em regiões próximas a desembocadura dos sistemas fluviais e os menores na bacia abissal do SCS (Figura 8b,c). Portanto, é possível utilizar as razões elementares Fe/Ca e Ti/Ca como indicadores da intensidade do aporte terrígeno em reconstituições paleoceanográficas no SCS.

Outras razões elementares, por exemplo, a razão Ti/Al, refletem a composição de material terrígeno e a condição climática nas bacias hidrográficas continentais. Em sedimentos marinhos, a fração de sedimentos mais grossos é enriquecida em Ti (e.g., SCHUTZ;RAHN, 1982 *apud* GOVIN *et al.*, 2012), enquanto Al está associado em sua maioria com partículas finas de argilominerais (BISCAYE, 1965 *apud* GOVIN *et al.*, 2012). No Oceano Atlântico, por exemplo, a razão Ti/Al em sedimentos superficiais sustenta o uso desta como um *proxy* de aporte eólico *versus* fluvial em regiões de deposição de poeira que não são afetadas pelo aporte de minerais máficos (GOVIN *et al.*, 2012).

Para o SCS, a distribuição da razão Ti/Al nos sedimentos intermediários superficiais apresenta os maiores valores no golfo de Tokin, no sul da China, valores médios ao longo da bacia abissal, e valores baixos na parte leste do SCS, próximos a costa de Luzon (Figura 8d). Os valores baixos próximos a costa de Luzon podem ser explicados através das altas concentrações de Al presente nos sedimentos exportados pelos rios desta região, como apresentado por Liu *et al.* (2016). No entanto, não é possível afirmar que esta razão elementar possa ser aplicada como *proxy* de aporte eólico *versus* fluvial uma vez que não há dados disponíveis de granulometria dos sedimentos superficiais do SCS. De qualquer forma, estudos recentes, utilizando granulometria, argilominerais e isótopos de Nd e Sr indicaram que o aporte eólico para o SCS não foi significativo durante os ciclos glaciais/interglaciais do Quaternário (LIU *et al.*, 2003 *apud* BOULAY *et al.*, 2005).

O grau de intemperismo dos minerais que compõem os sedimentos marinhos, também pode ser inferido através da assinatura geoquímica destes, refletindo as condições climáticas na região de formação destes sedimentos. Em regiões tropicais úmidas, altas taxas de precipitação promovem intemperismo químico intenso (e.g., escudos continentais e planícies tropicais aluviais) (MIDDELBURG *et al.*, 1988 *apud* GOVIN *et al.*, 2012). Estas regiões, de solos altamente intemperizados, fornecem sedimentos com assinatura geoquímica rica em Fe (DRIESSEN *et al.*, 2001), que é transferida para os sedimentos marinhos por aporte fluvial. Da mesma forma, regiões secas, com baixo intemperismo químico, fornecem sedimentos ricos em K (derivado do feldspato de potássio) e illita (ZABEL *et al.*, 2001; YARINCIK *et al.*, 2000; GOVIN *et al.*, 2012). No Oceano Atlântico, por exemplo, a distribuição espacial da razão Fe/K reflete o

aporte de material intensamente intemperizado de regiões úmidas *versus* partículas pouco intemperizadas provenientes de áreas secas, no entanto, esta razão pode ser influenciada pelo aporte de material máfico (GOVIN *et al.*, 2012).

No SCS os maiores valores de Fe/K foram encontrados próximos ao golfo de Tokin, no Sul da China (Figura 8e) e refletem sinais de intemperismo intenso. Os valores próximos a Taiwan variam de aproximadamente 1,5 a 2,5 e apontam intemperismo moderado, e os valores das regiões próximas a Luzon (aproximadamente 2,5) sugerem intemperismo moderado a intenso.

A alta diversidade da composição geoquímica dos sedimentos dos rios circundantes ao SCS é atribuída aos diferentes níveis de intemperismo químico das áreas continentais vizinhas (LIU *et al.*, 2016). De acordo com estes autores, o padrão de distribuição espacial dos tipos de minerais de argila, pode-se resumir a quatro mecanismos que contribuem a com a variabilidade regional do intemperismo químico: (i) a combinação a longo prazo do clima tropical quente e úmido com uma configuração tectônica relativamente estável leva a um intenso intemperismo químico, independentemente da variabilidade das rochas-mãe, (i.e., Malásia e Sumatra); (ii) o clima tropical úmido associado com intensa isostasia, ou uma configuração tectônica estável combinada com um clima subtropical quente e úmido pode induzir o intemperismo químico de moderado a intenso (i.e., Bornéu e Sul da China); (iii) isostasia intensa combinada com um clima subtropical quente e úmido pode produzir intemperismo químico moderado (i.e., Taiwan e Indochina); e (iv) o controle dominado pela litologia (rochas vulcânicas) sob condições climáticas subtropicais geralmente reflete regiões de intemperismo químico baixo a moderado (i.e., Luzon).

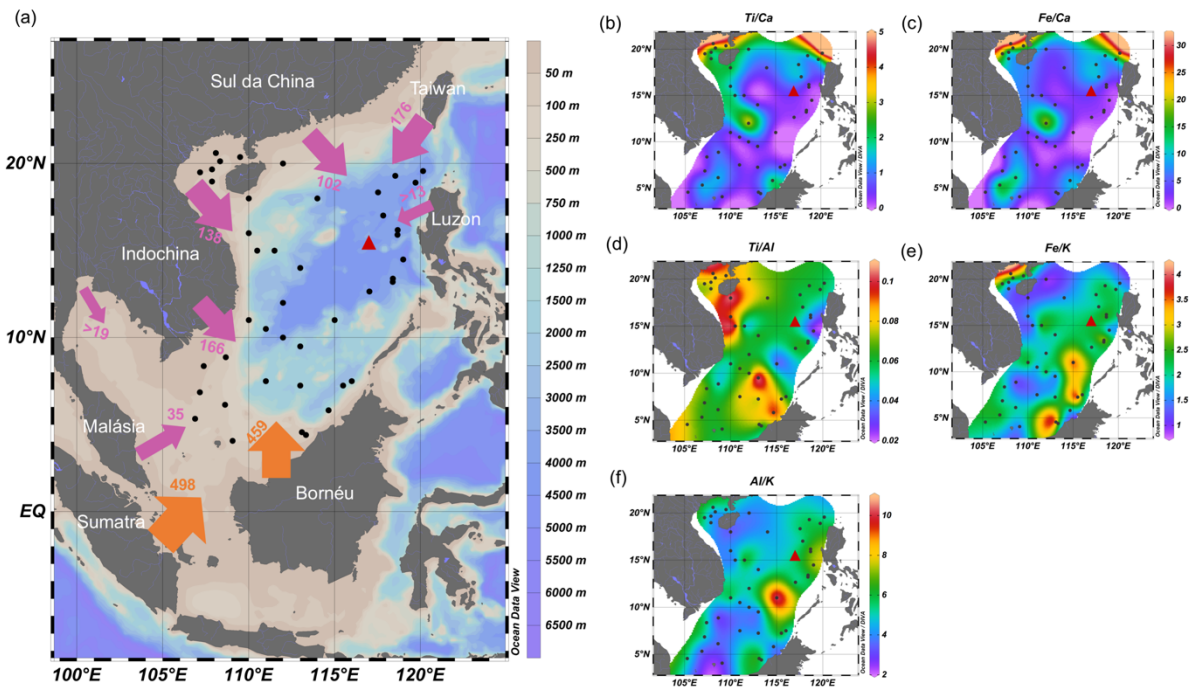


Figura 8 – Mapas de (a) localização da área de estudo com os sistemas fluviais continentais e o aporte anual de sedimentos em suspensão ($\times 10^6$ t/ano⁻¹) para o Mar Sul da China (com base em: Liu *et al.*, 2016); e de distribuição dos valores das razões elementares (b) Ti/Ca, (c) Fe/Ca e (d) Ti/Al (e) Fe/K e (f) Al/K em sedimentos superficiais do Mar Sul da China (com base em: Wei *et al.*, 2016). O triângulo vermelho representa o ponto de coleta do testemunho 349-U1431D.

A distribuição espacial da razão Fe/K para o sul da China e Taiwan concorda com resultados reportados por Liu *et al.* (2016), no entanto, os valores registrados no leste da bacia, próximo a Luzon, sugerem maior intemperismo do que em Taiwan. O valor médio de Fe/K próximo a 9,2 (Tabela 2) nos sedimentos da bacia de drenagem de Luzon juntamente com os dados dos sedimentos superficiais na região leste do SCS, que variam de 1,5 a 2,5 (Figura 8d), refletem a dominância exercida pelas características litológicas de Luzon, ilha com atividade sísmica ativa e, portanto, com a presença de material máfico em seus sedimentos, mostrando que a razão elemental Fe/K não é ideal para a reconstrução de zonas climáticas a partir dos graus de intemperismo na região.

A bacia leste do SCS, onde o testemunho 349-U1431D foi coletado, recebe, segundo Liu *et al.* (2016), sedimentos finos com alto teor de esmectita (~ 63 %), argilomineral formado sob intemperismo moderado típico de ambientes tropicais (condições úmidas e quentes), provenientes dos sistemas de drenagem de Luzon. Estes autores ainda apontam que esta região recebe também sedimentos com assinatura

mineralógica típica de rios de Taiwan, transportados para a área de estudo pela corrente de contorno profunda do SCS.

O contraste entre os valores de Fe/K em Taiwan com $\sim 2,1$ e Luzon com $\sim 9,2$ (Tabela 2) nos sedimentos das bacias hidrográficas, pode ser explicado devido ao material proveniente dos rios de Luzon serem empobrecidos em K, enquanto os rios de Taiwan exportam sedimentos em suspensão com maiores teores de K (LIU *et al.*, 2016). Os dados da razão Fe/K nos sedimentos abissais na região leste do SCS (Figura 8d) também se mostram distintamente menores do que aqueles encontrados para a bacia hidrográfica de Luzon (Tabela 2), apresentando valores próximos a 2,5. Este contraste sugere que o aporte anual de sedimentos diferenciado entre ambas as regiões (Taiwan, com $176 \times 10^6 \text{ t/ano}^{-1}$ e Luzon com $> 13 \times 10^6 \text{ t/ano}^{-1}$) exerce uma influência na contribuição de material terrígeno na região leste do SCS (Figura 8a).

A análise da razão elementar Fe/K dos sedimentos superficiais somada aos dados de aporte de sedimentos em suspensão na região concorda com a hipótese de que a contribuição de sedimentos terrígenos na seção Leste da bacia profunda do SCS seja exercida principalmente por Taiwan e Luzon. Considerando o caráter contrastante entre a assinatura geoquímica dos sedimentos provenientes das bacias de drenagem das ilhas de Luzon e Taiwan, Luzon contribui com material empobrecido em K e enriquecido em Al enquanto Taiwan exporta sedimentos com maiores teores de K e menores de Al (Tabela 2). O presente trabalho propõe a utilização da razão Al/K como *proxy* de origem dos sedimentos terrígenos do SCS, com maiores valores refletindo uma contribuição maior de Luzon, e menores valores de Taiwan. Em Taiwan, a dominância de illita e clorita indicam em sua maioria a intensidade de intemperismo físico. Em Luzon, a grande quantidade de esmectita reflete a hidrólise rápida de rochas de basalto andesítico e seu aporte direto no oceano (LIU *et al.*, 2016). Dessa forma, contribuições de Luzon *versus* Taiwan, refletem variações na capacidade de transporte de correntes profundas e de superfície no nordeste do SCS.

6.2 VARIAÇÕES NO APORTE TERRÍGENO PARA O SCS NOS ÚLTIMOS 400 MIL ANOS

Nos últimos 400 mil anos os sedimentos do SCS foram predominantemente compostos por argilas e siltes (valores médios de NGR de ~ 45 contagens/s⁻¹) (Figura 9). Observa-se, com exceção do início do MIS 11 e do MIS 1, a presença de menores valores de NGR em consonância com maiores valores de SM (Figura 9). No início do MIS 11 e no MIS 1, picos de SM associados a sedimentos relativamente mais finos (menores valores de NGR) caracterizam camadas de cinzas vulcânicas (Figura 9), confirmado pela descrição litológica do registro sedimentar de Li *et al.* (2015).

Por estar localizado sobre a zona de convergência de duas placas, a placa continental da eurásia e a placa oceânica do mar das Filipinas, Luzon é caracterizado pela presença de falhas transformantes e atividade vulcânica frequente (LIU *et al.*, 2016). A granulometria e espessura de camadas de cinzas vulcânicas no assoalho oceânico são controladas principalmente pela altura da coluna de erupção, intervalo do tamanho inicial das partículas ejetadas e a força do vento prevalecente (KENNETT, 1981 *apud* WIESNER, 2003). Próximos a costa de Luzon, os depósitos de cinzas vulcânicas são compostos por grãos mais grossos e por grãos finos sem estrutura interna aparente, sendo que com o aumento da distância da fonte das cinzas a tendência é a predominância de grãos finos em uma unidade de cinzas unificada (WIESNER *et al.*, 2003).

Apesar da baixa resolução temporal dos resultados das razões elementares em comparação com os dados de propriedades físicas, é possível observar padrões semelhantes entre estas variáveis ao longo do 349-U1431D. De maneira geral, a SM apresenta valores mais elevados nos intervalos interglaciais e menos aporte terrígeno nos glaciais (Figura 9), com exceção do MIS 10, que apresenta valores relativamente mais altos que a média dos períodos glaciais.

As razões elementares Ti/Ca e Fe/Ca apresentam padrões semelhantes ao longo dos últimos 400 mil anos, com a predominância dos valores mais altos durante os

períodos interglaciais (Figura 9). De maneira geral, valores relativamente mais altos de Ti/Ca e Fe/Ca ocorrem simultaneamente com sedimentos mais finos (NGR >40 contagens/s⁻¹) como, por exemplo, entre 290 a 310 ka, no MIS 9 e 8; em aproximadamente 140 ka, no MIS 6; entre aproximadamente 70 e 95 ka, no MIS 5 (Figura 9), enquanto valores menores das razões Ti/Ca e Fe/Ca ocorrem simultaneamente com sedimentos mais grossos (NGR <20 contagens/s⁻¹), associados com areia (Figura 9).

O aumento do aporte terrígeno associado com a presença de partículas finas sugere mudanças na intensidade da precipitação nas regiões continentais adjacentes ao SCS. No MIS 5, onde há maior resolução dos dados geoquímicos, é possível observar maiores valores das razões Ti/Ca e Fe/Ca juntamente com maiores valores de SM (Figura 9), sugerindo que neste período houve aumento no aporte de sedimentos terrígenos para o SCS. Ainda, no MIS 8 a ocorrência de maiores valores de Ti/Ca e Fe/Ca em consonância com a SM é observada, indicando que o aporte terrígeno na região neste glacial foi mais intensa do que em outros glaciais.

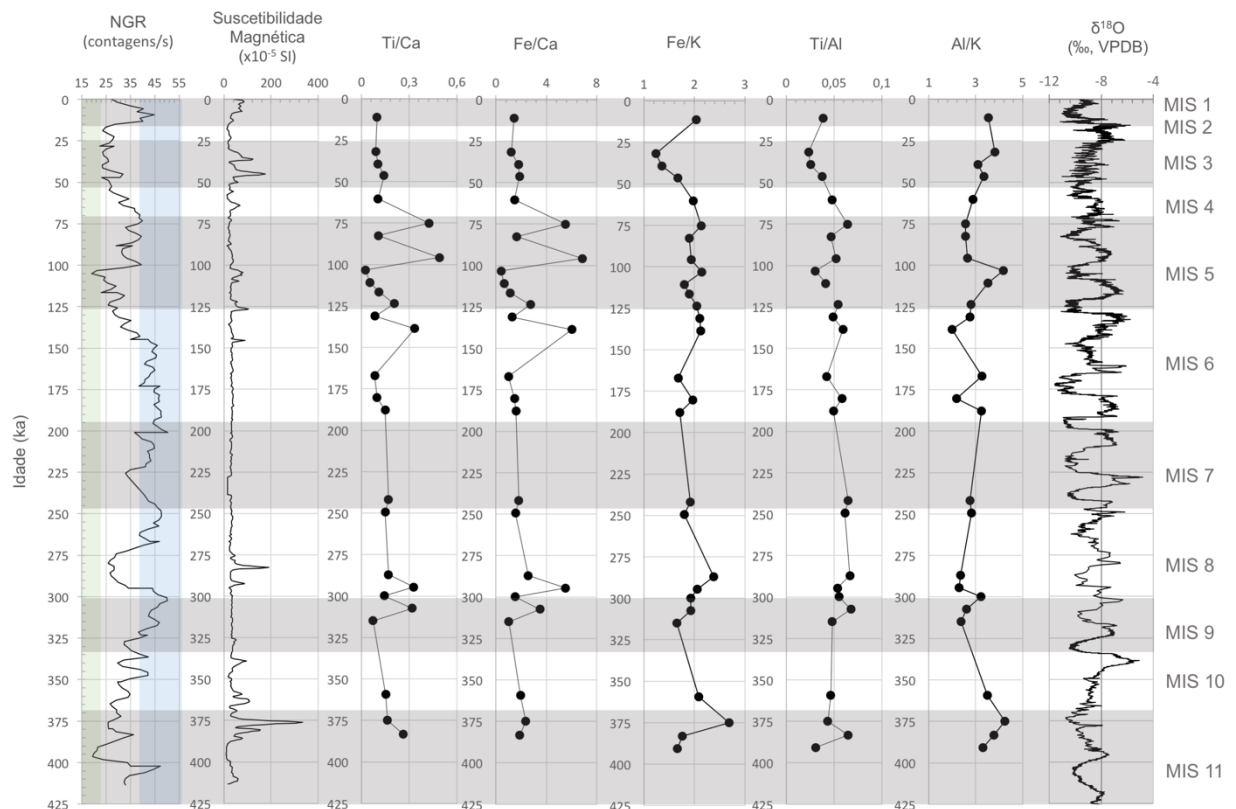


Figura 9 - Variações nos últimos 400 ka das propriedades físicas (NGR – contagens/s e susceptibilidade magnética – $\times 10^{-5}$ SI) e das razões elementares Ti/Ca, Fe/Ca, Fe/K, Ti/Al, e Al/K, nos sedimentos do testemunho 349-U1431D do Mar Sul da China (este trabalho) e composição isotópica de oxigênio ($\delta^{18}\text{O}$) em espeleotemas de cavernas (Hulu, Dongge e Sanbao) localizadas no SE da China (CHENG *et al.*, 2016b). A faixa verde destaca os valores de NGR considerados indicativos de grãos de areia, e a faixa azul, silte e lama (segundo RUSSELL, 1944 *apud* LI *et al.*, 2015); e faixas cinzas correspondem aos estágios isotópicos marinhos (MIS) interglaciais, os limites dos MIS com base em Lisiecki e Raymo (2005).

Como discutido anteriormente, a razão Fe/K no SCS apresenta sensibilidade ao material máfico exportado por Luzon. No entanto, os baixos teores de K presentes nos sedimentos exportados pelas bacias de drenagem de Luzon tornam a razão Fe/K sensível ao aumento do contribuinte de material da ilha em relação ao aporte total ao longo dos últimos 400 mil anos. Durante o MIS 11 e o MIS 1, **menores** valores da razão Fe/K, associados maiores valores de SM (Figura 9) e as camadas de cinza vulcânica, sugerem que o material terrígeno nestes períodos é proveniente da atividade sísmica na ilha de Luzon.

A razão Al/K (Figura 9), que reflete a contribuição de aporte terrígeno das ilhas de Taiwan e Luzon, aponta que os períodos de maior contribuição de Taiwan coincidem com os maiores valores registrados pelas razões Fe/Ca e Ti/Ca (Figura 9). Durante o MIS 8 e no MIS 6, menores valores da NGR (associados a silte e argila) combinados com os maiores valores de Fe/Ca e Ti/Ca (Figura 9), e menores valores da razão Al/K (Figura 9) possivelmente refletem a presença de sedimentos provenientes de Taiwan para a bacia leste do SCS. Ainda, valores relativamente mais altos dessa razão também evidenciam o aumento da contribuição de Luzon durante MIS 1 e MIS 11, caracterizados por uma camada de cinza vulcânica proveniente da atividade sísmica ativa dessa ilha.

O clima do Sul da China é diretamente influenciado pelo EAM e o registro de isótopo estável de oxigênio ($\delta^{18}\text{O}$) em espeleotemas coletados em cavernas chinesas podem ser aplicados no entendimento de mudanças climáticas no passado (WANG *et al.*, 2008). A variabilidade de $\delta^{18}\text{O}$ nos espeleotemas das cavernas desta região (p.e., Sanbao, Hulu e Dongge) caracterizam mudanças no regime de precipitação, onde valores mais baixos de $\delta^{18}\text{O}$ indicam maior volume de chuvas ocasionadas pelo EAM (CHENG *et al.*, 2009; 2016a). De acordo com CHENG *et al.* (2016a), os registros de $\delta^{18}\text{O}$ destas cavernas são caracterizados pela ciclicidade de 23 ka, que acompanham os

padrões de insolação de verão do Hemisfério Norte, dominados pela precessão. Isto indica que as mudanças na intensidade do EAM respondem linearmente a forçantes orbitais (WANG *et al.*, 2008; CHENG *et al.*, 2016a).

A precipitação regional está diretamente relacionada com o EAM (LIU *et al.*, 2016), dirigida sazonalmente pelos ventos das monções, é alternada entre o norte e sul devido o regime da ITCZ (WANG *et al.*, 2003). No norte a precipitação anual é de 1700–2000 mm para o sul da China e a Indochina, 1900–2100 mm para Luzon, com aproximadamente 85-90% da mesma ocorrendo durante o EAMs. No sul, a precipitação anual é de 2500 – 3000 mm for para a Malásia, Sumatra e Bornéu, no entanto, a distribuição das chuvas acontece de forma mais unificada ao longo do ano com um aumento de ~20 % durante a estação úmida (de novembro a fevereiro) quando o EAMw afeta a região (LIU *et al.*, 2012).

A deposição moderna de sedimentos terrígenos no assoalho oceânico do SCS atual está relacionada principalmente com a precipitação regional, como consequência da intensidade do EAM (LIU *et al.*, 2016). Com isso, é possível relacionar as oscilações das razões elementares e as propriedades físicas analisadas ao longo dos últimos 400 mil anos com a intensidade da precipitação registrada pelos dados de $\delta^{18}\text{O}$ das cavernas chinesas. Os dados deste trabalho sugerem que durante os períodos interglaciais o SCS recebeu maior aporte de sedimentos terrígenos SCS (maiores valores das razões Fe/Ca e Ti/Ca), associado a maior precipitação no continente adjacente (menores valores de $\delta^{18}\text{O}$), resultante de um EAMs mais intenso.

Variações nas séries temporais de associações de argilominerais ao longo do Quaternário no SCS apontam ciclicidade entre os períodos glaciais e interglaciais. Com altos teores de illita e clorita durante os períodos glaciais e altos teores de esmectita ao longo dos períodos interglaciais, e são interpretados como intemperismo químico diretamente relacionado com mudanças climáticas na área de origem ou transporte de correntes oceânicas (LIU *et al.*, 2016). Na bacia leste do SCS, como discutido anteriormente, as diferenças no grau de intemperismo dos sedimentos marinho refletem diferenças no aporte de sedimentos de Luzon *versus* Taiwan, indicando, conseqüentemente, variações na capacidade de transporte de correntes profundas e de

superfície no nordeste do SCS. Apesar da baixa resolução dos dados da razão elementar Al/K aplicada na seção leste do SCS, nota-se uma tendência entre os maiores valores de Al/K com os menores valores de $\delta^{18}\text{O}$ (Figura 9), sugerindo que os períodos em que a precipitação é mais intensa (valores menores de $\delta^{18}\text{O}$), a Ilha de Luzon tem maior contribuição de material terrígeno para o leste do SCS.

Segundo Liu et al. (2016) a alternância entre os períodos glaciais e interglaciais do Quaternário Superior exerce menor influência na variação temporal da deposição dos sedimentos terrígenos na região norte do SCS, do que a influência causada pela descarga de sedimentos em suspensão providos pelas bacias de drenagem circundantes e pelo o transporte dos mesmos realizado por correntes oceânicas. A avaliação conjunta da assinatura geoquímica dos sedimentos das bacias de drenagem continentais, dos sedimentos superficiais abissais, o registro sedimentar (349-U1431D) e da $\delta^{18}\text{O}$ registrados pelas cavernas do continente asiático, possibilitou inferir que o material terrígeno exportado por Taiwan aumenta em consonância com a intensidade das chuvas na região, contribuindo com sedimentos associados a silte e argila transportados em suspensão, e que sedimentos provenientes de Luzon, quando associados a valores mais altos de SM, fornecem sedimentos mais grossos para o leste do SCS. Ainda, o aumento do aporte de sedimentos terrígenos predominante nos interglaciais está associado com a precipitação regional e o EAM, no entanto a dinâmica de transporte e deposição na região leste do SCS parece não depender da ciclicidade dos períodos glaciais e interglaciais ao longo do Quaternário Superior, e sim da combinação da configuração sísmica ativa na região e da intensidade do EAM ao longo dos últimos 400 mil anos.

7 CONCLUSÕES

A avaliação conjunta da assinatura geoquímica dos sedimentos das bacias de drenagem continentais e dos sedimentos superficiais do SCS nos permite afirmar que as razões elementares Fe/Ca e Ti/Ca podem ser aplicadas como *proxies* na reconstituição da intensidade de aporte terrígeno para o SCS; as razões Ti/Al, comumente utilizada como *proxy* de transporte fluvial *versus* eólico de sedimentos terrígenos para o oceano, e Fe/K, comumente utilizada como *proxy* de zonas climáticas continentais, não se

mostraram ideais para o SCS. No entanto, a razão Fe/K pode ser aplicada na reconstituição da contribuição de sedimentos oriundos de Luzon para o SCS; e este estudo ainda propõem a aplicação da razão Al/K, como *proxy* de origem do material terrígeno para o SCS entre as ilhas de Taiwan e Luzon.

Com base nas assinaturas geoquímicas de um registro sedimentar marinho (testemunho 349-U1431D) foi possível reconstituir o aporte de sedimentos terrígenos para o SCS nos últimos 400 mil anos. Os dados deste trabalho sugerem que durante os períodos interglaciais (glaciais) o SCS recebeu maior (menor) aporte de sedimentos terrígenos provenientes principalmente de Taiwan (Luzon), associado a maior (menor) precipitação no continente adjacente, resultante de um EAMs mais intenso (fraco). Ainda, foi possível identificar que durante o MIS 11 e o MIS 1, a bacia leste do SCS recebeu cinzas vulcânicas provenientes de atividade sísmica na ilha de Luzon.

REFERÊNCIAS

AN, Z., LIU, T., LU, Y., PORTER, S.C., KUKLA, G., WU, X., HUA, Y., 1990. **The long-term paleomonsoon variation recorded by the loess–paleosol sequence in central China.** Quaternary International ,v. 7, p. 91-95, 1990.

BOULAY, S., COLIN, C., TRENTESAUX, A., FRANK, N., LIU, Z. F. **Sediment sources and East Asian monsoon intensity over the last 450 ky.** Mineralogical and geochemical investigations on South China Sea sediments. Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol. 228, 260–277. 2005.

CAMPISANO, C. **Milankovitch cycles, paleoclimatic change, and hominin evolution.** Nature Education Knowledge, v. 3, n. 5. 2012.

CLARK, P. U., DYKE, A. S., SHAKUN, J. D., CARLSON, A. E., CLARK, J., WOHLFARTH, B., MITROVICA, J. X., HOSTETLER, S. W., MCCABE, A. M. **The Last Glacial Maximum.** American Association for the Advancement of Science. Vol. 325. no. 5941, pp. 710 - 714. 2009

CHENG, H., EDWARDS, R. L., Broecker, W. S., Denton, G. H., Kong, X., Wang, y., Zhang, R., Wang, X. **Ice age terminations.** science, v. 326, n. 5950, p. 248-252, 2009.

CHENG, H., EDWARDS, R. L., SINHA, A., SPÖTL, C., YI, L., CHEN, S., KELLY, M., KATHAYAT, G., WANG, X., LI, X., KONG, X., WANG, Y., NING., Y., ZHANG, H. **The Asian monsoon over the past 640,000 years and ice age terminations.** Nature, v. 534, n. 7609, p. 640-646, 2016a.

CHENG, H., EDWARDS, R.L., SINHA, A., SPÖTL, C., YI, L., CHEN, S., KELLY, M., KATHAYAT, G., WANG, X., LI, X., KONG, X., WANG, Y., NING, Y., ZHANG, H. **China 640,000 Year Speleothem Oxygen Isotope Data** <https://www.ncdc.noaa.gov/paleo/study/20450>. 2016b.

CHOW, T. J., GOLDBERG, E. D. **On the marine geochemistry of barium**. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 20, n. 3, p. 192-198, 1960.

CLEMENS, S.T., MURRAY, D.W., PRELL, W.L. **Nonstationary phase of the Plio-Pleistocene Asian monsoon**. *Science*, v. 274, n. 5289, p. 943, 1996.

DONG, L., LI, L., LI, Q., WANG, H., ZHANG, C. L. **Hydroclimate implications of thermocline variability in the southern South China Sea over the past 180,000 yr**. *Quaternary Research*, v. 83, n. 2, p. 370-377. 2015.

GIBBARD, P. L. **The Quaternary System/Period and its major subdivisions**. *Russian Geology and Geophysics*, v. 56, n. 4, p.686-688. 2015.

GOVIN, A., HOLZWARTH, U., HESLOP, D., FORD KEELING, L., ZABEL, M., MULITZA, S., COLLINS, J.A. AND CHIESSI, C.M. **Distribution of major elements in Atlantic surface sediments (36 N–49 S): Imprint of terrigenous input and continental weathering**. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, v. 13, n. 1. 2012.

GRADSTEIN, F. M., OGG, J. G., SCHMITZ, M., & OGG, G. **The geologic time scale 2012 2-volume set**. elsevier, 2012.

HUANG, E., & TIAN, J. **Sea-level rises at Heinrich stadials of early Marine Isotope Stage 3: Evidence of terrigenous n-alkane input in the southern South China Sea**. *Global and Planetary Change*. v. 94, p. 1-12. 2012.

JIAN, Z., WANG, P., CHEN, M. P., LI, B., ZHAO, Q., BÜHRING, C., LAJ, C., LIN, H-L., PFLAUMANN, U., BIAN, Y., WANG, R., CHENG, X. **Foraminiferal responses to major Pleistocene paleoceanographic changes in the southern South China Sea**. *Paleoceanography*, v. 15, n. 2, p. 229-243, 2000.

JIAN, Z., HUANG, B., KUHNT, W., LIN, H. L. **Late Quaternary upwelling intensity and East Asian monsoon forcing in the South China Sea**. *Quaternary Research*, v.55, n. 3, p. 363-370. 2001.

KUTZBACH, J. E., LIU, X., LIU, Z., CHEN, G. **Simulation of the evolutionary response of global summer monsoons to orbital forcing over the past 280,000 years**. *Climate Dynamics*, v. 30, n. 6, p. 567-579, 2008.

LI, C.F., LIN, J., KULHANEK, D.K., WILLIAMS, T., BAO, R., BRIAIS, A., BROWN, E.A., CHEN, Y., CLIFT, P.D. , COLWELL, F.S., DADD, K.A., DING, W.-W., HERNÁNDEZ-

ALMEIDA, I., HUANG, X.-L., HYUN, S., JIANG, T., KOPPERS, A.A.P., LI, Q., LIU, C., LIU, Q., LIU, Z., NAGAI, R.H., PELEO-ALAMPAY, A., SU, X., SUN, Z., TEJADA, M.L.G., TRINH, H.S., YEH, Y.-C., ZHANG, C., ZHANG, F., ZHANG, G.-L., ZHAO, X. **Proceedings of the International Ocean Discovery Program Volume 349** publications.iodp.org. 2015

LISIECKI, L. E., RAYMO, M. E. **A Pliocene-Pleistocene stack of 57 globally distributed benthic $\delta^{18}\text{O}$ records.** *Paleoceanography*. v. 20, n. 1. 2005.

LIU, Z., WANG, H., HANTORO, W. S., SATHIAMURTHY, E., COLIN, C., ZHAO, Y., LI, J. **Climatic and tectonic controls on chemical weathering in tropical Southeast Asia (Malay Peninsula, Borneo, and Sumatra).** *Chemical Geology*, v. 291, p. 1-12, 2012.

LIU, K. K., CHAO, S. Y., SHAW, P. T., GONG, G. C., CHEN, C. C., TANG, T. Y. **Monsoon-forced chlorophyll distribution and primary production in the South China Sea: observations and a numerical study.** *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, v. 49, n. 8, p. 1387-1412. 2002.

LIU, Z., ZHAO, Y., COLIN, C., STATTEGGER, K., WIESNER, M. G., HUH, C. A. Zhang, Y., Li, X., Sompongchaiyakul, P. You, C-F., Huang, C-Y., Liu, J. T., Siringan, F. P., Le, K. P., Sathiamurthy, E., Hantoro, W. S., Liu, J., Tuo, s., Zhao, s., Zhou, s., He, Z., Wang, Y., Bunsomboonsakul, S., Li, Y. **Source-to-sink transport processes of fluvial sediments in the South China Sea.** *Earth-Science Reviews*, v. 153, p. 238-273, 2016.

LOWE, J. J., WALKER, M. J. **Reconstructing Quaternary Environments.** Routledge. 2014.

LU, H., LIU, X., ZHANG, F., AN, Z., & DODSON, J. **Astronomical calibration of loess-paleosol deposits at Luochuan, central Chinese Loess Plateau.** *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 154, n. 3, p. 237-246, 1999.

MIAO, Q., THUNELL, R.C., ANDERSON, D.M. **Glacial-Holocene carbonate dissolution and sea surface temperatures in the South China and Sulu Seas.** *Paleoceanography*, v.9, n.2, p. 269-290. 1994.

MORLEY, J.J., HEUSEUR, L.E. **Role of orbital forcing in east Asian monsoon climates during the last 350 ky: evidence from terrestrial and marine climate proxies from core RC14-99.** *Palaeogeography*, v.12, n.3, p. 483-493. 1997.

MAHIQUES, M. M., WAINER, I. K. C., BURONE, L., NAGAI, R., E SOUSA, S. H. D. M., FIGUEIRA, R. C. L. da Silveira, I. C. A., Bícigo, M. C., Alves, D. P.V., Hammer, Ø. **A high-resolution Holocene record on the Southern Brazilian shelf: paleoenvironmental implications.** *Quaternary International*, v. 206, n. 1, p. 52-61, 2009.

PAYTAN, A., GRIFFITH, E. M. **Marine barite: Recorder of variations in ocean export productivity.** *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, v. 54, n. 5, 687-705. 2007.

PFLAUMANN, U., JIAN, Z. **Modern distribution patterns of planktonic foraminifera in the South China Sea and western Pacific: a new transfer technique to estimate regional sea-surface temperature.** *Marine Geology*, v. 156, n. 1, p. 41-83, 1999.

RUDDIMAN, W. F. **Orbital changes and climate.** *Quaternary Science Reviews*, v. 25, n. 23, 3092-3112. 2006.

SCHLITZER, R. **Ocean Data View**, <http://odv.awi.de>. 2014.

ST-ONGE, G., MULDER, T., FRANCUS, P., LONG, B. **Chapter two continuous physical properties of cored marine sediments.** *Developments in marine geology*, v. 1, p. 63-98, 2007.

SU, X., LIU, C., BEAUFORT, L., TIAN, J., HUANG, E. **Late Quaternary Cocolith Records in the South China Sea and East Asian monsoon dynamics.** in: *Global and Planetary Change*. 2013.

TAMBURINI, F., ADATTE, T., FÖLLMI, K., BERNASCONI, S. M., STEINMANN, P. **Investigating the history of East Asian monsoon and climate during the last glacial–interglacial period (0–140 000 years): mineralogy and geochemistry of ODP Sites 1143 and 1144, South China Sea.** *Marine Geology*, v. 201, n. 1, p. 147-168, 2003.

TIAN, J., HUANG, E., PAK, D. K. **East Asian winter monsoon variability over the last glacial cycle: Insights from a latitudinal sea-surface temperature gradient across the South China Sea.** *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v.292, n.1, p.319-324. 2010.

THOMAS, E. **Paleoceanography: Overview.** In: *Encyclopedia of Ocean Sciences*, Steele J.H., Thorpe, S.A., Turekian, K.K. (EDS.). Academic Press, p. 2077-2082, 2001.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – USEPA. Method 3052. Microwave assisted acid digestion of siliceous and organically based matrices. Revision 0. 1996.

WANG, Y., CHENG, H., EDWARDS, R. L., KONG, X., SHAO, X., CHEN, S., WU, J., JIANG¹, X., WANG, X., AN, Z. **Millennial-and orbital-scale changes in the East Asian monsoon over the past 224,000 years.** *Nature*, v. 451, n. 7182, p. 1090-1093, 2008.

WANG, L., WANG, P. **Late Quaternary paleoceanography of the South China Sea: Glacial-interglacial contrasts in an enclosed basin.** *Paleoceanography*, v. 5, n. 1, p. 77-90, 1990.

WANG, P., WANG, L., BIAN, Y., & JIAN, Z. **Late Quaternary paleoceanography of the South China Sea: surface circulation and carbonate cycles.** *Marine Geology*. v. 127, n. 1, p.145-165.1995.

WANG, L., SARNTHEIN, M., ERLLENKEUSER, H., GRIMALT, J., GROOTES, P., HEILIG, S., IVANOVA, E., KIENAST, M., PELEJERO C., PFLAUMANN, U. **East Asian monsoon climate during the Late Pleistocene: high-resolution sediment records from the South China Sea.** *Marine Geology*, v. 156, n. 1, p. 245-284, 1999.

WANG, P., JIAN, Z., ZHAO, Q., LI, Q., WANG, R., LIU, Z., WU, G., SHAO, L., WANG, J., HUANG, B., FANG, D., TIAN J., LI, J., LI, Xi., WEI, G., SUN, X., LUO, Y., SU, X., MAO, S., CHEN, M. **Evolution of the South China Sea and monsoon history revealed in deep-sea records.** *Chinese Science Bulletin*, v. 48, n. 23, p. 2549-2561, 2003.

WANG, P., LI, Q. Chapter 2: **Oceanographical and geological background.** In: **The South China Sea: Paleoceanography and Sedimentology.** *Developments in Paleoenvironmental Research*, 13, Springer Science, Dordrecht, p. 297–394. 2009.

WANG, P., LI, Q., & TIAN, J. **Pleistocene paleoceanography of the South China Sea: Progress over the past 20 years.** *Marine Geology*, v. 352, p. 381-396. 2014.

WYRTKI, K., **Scientific results of marine investigations of the South China Sea and the Gulf of Thailand 1959-1961.** *NAGA report*, v. 2, 1961.

WEFER, G., BERGER, W. H., BIJMA, J., & FISCHER, G. Clues to ocean history: a brief overview of proxies. *Use of proxies in paleoceanography.* Springer Berlin Heidelberg. p.1-68, 1999

WEI, G., LIU, Y., MA, J., XIE, L., JIANFANG, C., DENG, W., SONG, T. **(Table 1) Major elements from different sediment cores in the southern China Sea,** doi:10.1594/PANGAEA.855176. 2016.

WIESNER, M. G., WETZEL, A., CATANE, S. G., LISTANCO, E. L., MIRABUENO, H. T. **Grain size, areal thickness distribution and controls on sedimentation of the 1991 Mount Pinatubo tephra layer in the South China Sea.** *Bulletin of Volcanology*, v. 66, n. 3, p. 226-242, 2003.

YARINCIK, K. M., MURRAY, R. W., PETERSON, L. C. **Climatically sensitive eolian and hemipelagic deposition in the Cariaco Basin, Venezuela, over the past 578,000 years:** Results from Al/Ti and K/Al. *Paleoceanography*, v. 15, n. 2, p. 210-228, 2000.

ZABEL, M., SCHNEIDER, R. R., WAGNER, T., ADEGBIE, A. T., DE VRIES, U., KOLONIC, S. **Late Quaternary climate changes in Central Africa as inferred from terrigenous input to the Niger Fan.** *Quaternary Research*, v. 56, n. 2, p. 207-217, 2001.

