

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS  
UNIDADE ACADÊMICA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA  
NÍVEL MESTRADO**

**Adriane Gomes Preissler**

**Geomorfologia Sísmica de Feições Depositionais e Erosionais do  
Sistema Deltaico Eridanos (Plioceno do Setor Holandês do Mar do Norte).**

**São Leopoldo**

**2015**

**Adriane Gomes Preissler**

**Geomorfologia Sísmica de Feições Depositionais e Erosionais do  
Sistema Deltaico Eridanos (Plioceno do Setor Holandês do Mar do Norte).**

Dissertação de Mestrado apresentada como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre, pelo Programa de Pós Graduação da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos).

Área de Concentração em Geologia Sedimentar

Linha de Pesquisa em Estratigrafia e Evolução de Bacias

**Orientador: Prof. Dr. Paulo Sergio Gomes Paim**

**São Leopoldo**

**2015**

---

P924g

Preissler, Adriane Gomes.

Geomorfologia Sísmica de Feições Depositionais e Erosionais do Sistema Deltaico Eridanos (Plioceno do Setor Holandês do Mar do Norte) / Adriane Gomes Preissler. – 2015.

67 f. : il. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Geologia, São Leopoldo, RS, 2015.

Área de Concentração: Geologia Sedimentar

Orientador: Prof. Dr. Paulo Sérgio Gomes Paim.

1.Geomorfologia Sísmica. 2.Plioceno – Mar do Norte. 3.Estratigrafia. I. Título. II.Paim, Paulo Sérgio Gomes.

CDU 551.4

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
(Bibliotecária Raquel Herbcz França – CRB 10/1795)

---

A dissertação de Mestrado


**“GEOMORFOLOGIA SÍSMICA DE FEIÇÕES DEPOSICIONAIS E EROSIONAIS DO  
SISTEMA DELTÁICO ERIDANOS (PLIOCENO DO SETOR HOLANDÊS DO MAR DO  
NORTE)”**

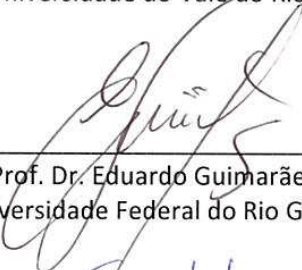
apresentada por **Adriane Gomes Preissler**


foi aceita e aprovada como atendimento parcial aos requisitos para a obtenção do grau de

**MESTRE EM GEOLOGIA**

pela seguinte banca examinadora:

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Paulo Sérgio Gomes Paim  
Presidente da Banca Examinadora  
Universidade do Vale do Rio dos Sinos

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Eduardo Guimarães Barboza  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Ernesto Luiz Córrea Lavina  
Universidade do Vale do Rio dos Sinos

São Leopoldo, 05 de março de 2015.

## SUMÁRIO

<i>LISTA DE FIGURAS</i> .....	II
<i>AGRADECIMENTOS</i> .....	IV
<i>RESUMO</i> .....	V
<i>ABSTRACT</i> .....	VI
<b>CAPÍTULO I</b> .....	<b>VIII</b>
1.1 INTRODUÇÃO .....	1
1.2 OBJETIVO .....	3
1.3 LOCALIZAÇÃO E CONTEXTO GEOLÓGICO.....	4
1.3.1 Localização.....	4
1.3.2 Contexto Geológico.....	6
1.4 FUNDAMENTOS CONCEITUAIS.....	12
1.4.1 A Sísmica de Reflexão .....	12
1.4.2 Sismo-Estratigrafia .....	14
1.4.3 Estratigrafia de Sequências.....	18
1.4.4 Tratos de Sistema .....	19
1.4.5 Correntes de Turbidez, Hiperpicnais e de Contorno. ....	21
1.4.6 Geomorfologia Sísmica .....	24
1.4.7 Atributos sísmicos .....	26
1.4.8 Amplitude Instantânea.....	27
1.5 MATERIAIS E MÉTODOS .....	29
1.6 REFERÊNCIAS.....	33
<b>CAPÍTULO II</b> .....	<b>37</b>
<b>ANEXO</b> .....	<b>57</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 01.</b> Mapa de localização do bloco sísmico F3 (retângulo vermelho) no setor holandês do Mar do Norte. Imagem do Google Earth. ....	4
<b>Figura 02.</b> Figura de detalhe do setor holandês do Mar do Norte com indicação das áreas cobertas por levantamentos sísmicos 3D de alta qualidade. Elipse azul situa a área do bloco F3, utilizado nesse trabalho. Modificado de Jager e Geluk, 2007.....	5
<b>Figura 03.</b> Ponto triplo do Mar do Norte e principais elementos tectônicos. As setas vermelhas indicam a orientação do stress. Modificado de Evans & Graham 2003.. ....	7
<b>Figura 04.</b> Indicação das principais fontes de sedimento para dentro do Graben central ao longo do tempo geológico (modificada de Overeem <i>et al.</i> , 2001). A localização do bloco sísmico utilizado neste estudo esta salientado em vermelho. ....	8
<b>Figura 05.</b> a) Linha sísmica inline #150, onde se destaca a influência do domo de sal (linha amarela) na morfologia do MMU (linha vermelha). b) crossline #1200 com delimitação do topo da camada salina (linha amarela) e marcação do MMU (linha vermelha). Nas duas figuras é possível ver sua localização no mapa esquemático do cubo sísmico F3 (quadrado no topo esquerdo). ....	11
<b>Figura 06.</b> Arranjo de aquisição para sísmica 3D, o navio equipado com a fonte de energia ( <i>airgun</i> ) reboca um cabo com hidrofones ( <i>streamer</i> ) que recebe o sinal que é refletido cada vez que o sinal acústico encontra uma interface em subsuperfície. Modificado de Nichols 2009.. ....	13
<b>Figura 07.</b> Padrões de terminações de refletores, nos limites superior e inferior, de uma sequência sísmica (apud Ribeiro, 2001, modificado de Mitchum Jr <i>et al.</i> , 1977). ....	17
<b>Figura 08.</b> Modelo da geometria e padrão de terminação dos refletores, tratos de sistemas deposicionais e limites de sequência (modificado. de Nichols G., 2009). ....	21
<b>Figura 09.</b> Modelo esquemático segundo Schumm 1987 para sistemas fluviais. ....	24
<b>Figura 10.</b> Mapa da distribuição das linhas no cubo sísmico do bloco F3 e indicação das locações dos quatro poços. ....	30
<b>Figura 11.</b> Mapa de distribuição dos poços ao longo do cubo sísmico F3. Durante o mapeamento as informações dos poços foram usadas exclusivamente para garantir que estava se seguindo o refletor correto. ....	31

*Geologia?  
Pois o Visconde andava a estudar geologia?  
Verdade, sim.  
O Visconde descobrira entre os livros de Dona Benta um tratado dessa ciência  
e pusera-se a estudá-la — a ciência que conta a história da terra,  
não da terra-mundo, mas da terra-terra, da terra-chão.  
E de tanto estudar, ficou com um permanente sorriso de superioridade nos lábios  
— sorriso de dó da ignorância dos outros.  
"Ele já entende de terra mais que tatu", dizia a boneca...  
... Ah, o sorriso que tenho nos lábios é um sorriso geológico  
— o sorriso de quem sabe, olha, vê e compreende.*

Monteiro Lobato em o Poço do Visconde.

## ***AGRADECIMENTOS***

Para que esse trabalho pudesse ser realizado contei com ajuda de alguns grupos de pessoas:

IPR: Joao Marcelo Medina Ketzer e Adolpho Augustin, sem as liberações eu não teria conseguido realizar os trabalhos de campo, acompanhar as disciplinas e realizar esse trabalho, obrigada também por permitir que eu usasse os computadores do IPR para processar os dados, uma vez que meu notebook não suportou o volume de dados do cubo.

UNISINOS: agradeço à equipe da secretaria, Juliano e Raquel, por serem sempre tão prestativos e atenciosos, me ajudando sempre que foi preciso.

Meu orientador: Paulo Paim que fez um esforço enorme facilitando nossos encontros, agradeço pelas conversas e ajuda ao focar meus pensamentos e por entender que eu não podia estar presente o tempo todo. E por acreditar na minha capacidade de realizar esse projeto.

Família: agradeço pelo suporte emocional e por compreender meus momentos de tensão e angústia (e até irritação na fase final desse projeto), em especial a minha mãe Helena Gomes Preissler que sempre esteve presente em todos os momentos. E por fim, agradeço a Leonardo Prade, pelas correções, opiniões e puxões de orelha, sempre me incentivado a ir além e fazer melhor.

Por fim agradeço a CAPES pela bolsa de estudo.



## ***RESUMO***

Feições deposicionais e erosionais em duas superfícies específicas dentro do intervalo do Plioceno do setor holandês do Mar do Norte foram estudadas através da utilização da geomorfologia sísmica e dos conceitos da sismo-estratigrafia. Esse estudo consistiu da interpretação sísmica de um bloco 3D de alta qualidade, com aproximadamente 400 km<sup>2</sup> de área e adquirido em águas rasas (~ 40 m), o qual abrange os refletores pertencentes ao sistema flúvio-deltaico Eridanos. A aplicação dos filtros, o mapeamento dos atributos sísmicos ao longo dos horizontes sísmicos escolhidos e a interpretação das feições paleogeomorfológicas que se tornaram aparentes com tais procedimentos foram realizados com o uso do software livre OpendTect. O mapeamento do primeiro destes horizontes, uma superfície de máxima inundação, evidenciou a presença de uma rede de canais tributários desenvolvidos ao longo de uma paleotalude deposicional e que convergiam formando canais submarinos maiores interpretados como de natureza hiperpicnal. Evidências da ação de correntes de contorno também foram identificadas em uma região restrita da superfície mapeada. Por outro lado, a análise do segundo horizonte sísmico mapeada, uma discordância subaérea, permitiu identificar a ação das correntes de contorno agindo em quase toda a área de estudo, além de feições mais localizadas que indicam a ação de correntes de turbidez que remobilizavam os contornitos. Os resultados alcançados permitiram melhor vincular condições climáticas extremas (glacial e interglacial) com feições morfológicas erosionais / deposicionais (feições lineares erosivas e deposicionais vinculadas a correntes de contorno, rede de drenagem tributária e canais submarinos associados, e canais e lobos turbidícticos).

**Palavras-chave:** Sísmica 3D, Geomorfologia Sísmica, Mar do Norte, Plioceno.

## ***ABSTRACT***

Depositional and erosional features along two specific surfaces within Pliocene strata of the Dutch sector of the North Sea were studied based on using seismic geomorphology and seismic stratigraphy concepts. This study consisted of the interpretation of a high quality 3D seismic cube (~ 400 km<sup>2</sup>) acquired in shallow water (~ 40 m), which covers the Eridanos fluvio-deltaic depositional system. The free software OpendTect was used to analyze two key stratigraphic surfaces. Some seismic attributes and filters were used to highlight palaeogeomorphological features on the selected horizon slices. The first one, a maximum flooding surface, shows a network of tributary channels incised onto the slope and merging into larger, probably hyperpycnal channels developed on the basin floor. Local evidence of contour currents was also identified. The second horizon, a subaerial unconformity, presents evidence of widespread action of contour currents and local action of turbidity currents partially reworking the contourites. The results enhanced the close relationship between extreme climate conditions (glacial and interglacial) and erosional / depositional geomorphological features (*e.g.* contour currents scours and depositional streaks, tributary drainage network and associated submarine channels, and turbidite channels and lobes).

**Key words:** 3D seismic, Seismic Geomorphology, North Sea, Pliocene

## *ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO*

A dissertação é constituída por dois capítulos maiores. O Capítulo I é composto por seis itens. O item 1.1 (Introdução) faz uma breve apresentação da pesquisa. O item 1.2 descreve os objetivos do trabalho. No item 1.3 é descrita a geologia regional do Mar do Norte, com ênfase no aporte sedimentar. Já o item 1.4 aborda questões conceituais acerca do tema, em especial sobre o método sísmico. O item 1.5 descreve os materiais e métodos utilizados nessa dissertação. Por fim, o item 1.6 traz as referências citadas no capítulo I. O Capítulo II apresenta os resultados na forma de um artigo científico submetido à *Marine Geology*. No anexo é apresentado o comprovante de submissão do trabalho bem como um resumo do trabalho a ser apresentado no IX Simpósio Sulbrasileiro de Geologia.

## **CAPÍTULO I**

## 1.1 INTRODUÇÃO

A partir da década de 1980 a aquisição sísmica teve uma significativa redução nos custos e passou a ser realizada em grande escala. O processamento e a interpretação sísmica têm também crescido muito em função dos avanços nos algoritmos de cálculo e no avanço de tecnologias computacionais que melhoram o desempenho dos computadores permitindo assim a manipulação de grandes volumes de dados sísmicos. A sísmica 3D em verdade deriva de uma aquisição 2D com espaçamento entre as linhas muito menor que a usual além de uma alta precisão de navegação. Esses dados resultam em um cubo sísmico com informações de X-Y-Z georreferenciadas. Entre as diversas análises possíveis destes dados sísmicos 3D, o mapeamento das propriedades acústicas ao longo de horizontes ou refletores sísmicos (*horizon analysis*) abriu um enorme campo de estudo ao permitir a visualização de paleofeições geomorfológicas, sistemas deposicionais e até mesmo tratos de sistemas por inteiro (*e.g.* Posamentier *et al.* 2003, 2007).

Nesse contexto, esse estudo foi motivado pela possibilidade de resgatar feições paleogeomorfológicas preservadas ao longo de paleosuperfícies deposicionais/erosionais (refletores ou horizontes sísmicos) de idade Plio-Pleistocênica. A geração da geomorfologia de uma superfície a partir da sísmica permite um melhor entendimento das direções e quantidades de sedimentos disponíveis naquele momento, além de como essa distribuição ocorreu no espaço 3D. O mapeamento e a análise de horizontes sísmicos (*horizon slices*) e de fatias em tempo (*time slices*), extraídos do cubo sísmico, fornecem imagens em planta relacionadas a morfologia e a variação espacial na intensidade de atributos sísmicos (*e.g.* amplitude do sinal acústico) ao longo do refletor. Essas evidências mimetizam feições

---

geomorfológicas erosionais / deposicionais e a distribuição das fácies sedimentares, trazendo assim à luz importantes aspectos relacionados a processos sedimentares, a elementos arquiteturais, a sistemas deposicionais e a tratos de sistemas deposicionais (*e.g.* Posamentier *et al.*, 2007).

Os estratos de idade Neojurássica e Eocretácica do Mar do Norte tem sido alvo de pesquisa exploratória desde a década de 1960, incluindo uma intensa e ampla aquisição de sísmica 3D a partir do final da década de 1980 (Jager & Geluk, 2007). O setor holandês, onde se situa a área de trabalho, possui uma cobertura sísmica 3D de mais de 50% (*onshore* e *offshore*) e teve seus primeiros poços descobridores de óleo e/ou gás no final da década de 1950, com a descoberta do campo gigante de Groningen (Jager & Geluk, 2007). Muitos estudos foram desenvolvidos enfocando os alvos exploratórios de idade Mesozóica, porém devido a contratos de confidencialidade essas informações não estão publicadas com acesso público, apenas mapas de ocorrência geral e litoestratigrafia do Paleogeno foram publicados (*e.g.* Keizer & Letsch, 1963; Van Staalduinen *et al.*, 1979; Letsch & Sissingh, 1983; Zagwijn, 1989; Van Adrichem Boogaert & Kouwe, 1997; Vinken, 1998). Além disso, o próprio intervalo Mioceno médio a Pleistoceno ora enfocado ainda é pouco estudado apesar da excelente qualidade de seus dados sísmicos.

Dentro deste contexto, a disponibilização gratuita pela *dGB Earth Sciences* de dados sísmicos 3D de excelente qualidade foi uma oportunidade ímpar de desenvolver um estudo de geomorfologia sísmica, tema esse ainda pouco abordado no meio acadêmico brasileiro. Os trabalhos publicados com viés similar utilizam a sísmica 3D para gerar a geomorfologia do fundo atual (*e.g.* Vieira *et al.*, 2010; Garrido *et al.*, 2010) ou analisam a paleogeomorfologia a partir de dados sísmicos 2D (López, 2009). Barboza (2005), em seu trabalho de doutorado, utilizou-se dos preceitos da geomorfologia sísmica no campo de Namorado. Alguns trabalhos

nessa temática, mas abordada a partir fatias de tempo (*Z slice*), vem sendo desenvolvidos pelo Grupo de Estratigrafia Teórica e Aplicados da UFBA (*e.g.* Alfaro & Holz, 2014).

## **1.2 OBJETIVO**

O objetivo desta dissertação foi tornar aparente, mapear e analisar feições geomorfológicas pretéritas preservadas em algumas superfícies estratigráficas chaves vinculadas à evolução no Plio-Pleistoceno do sistema flúvio-deltaico Eridanos que então progradava no Mar do Norte.

## 1.3 LOCALIZAÇÃO E CONTEXTO GEOLÓGICO

### 1.3.1 Localização

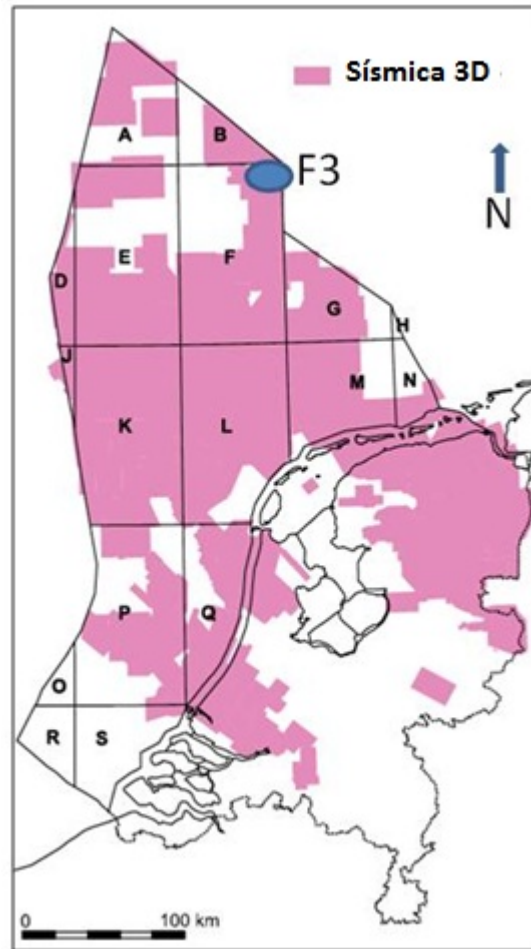
A área de estudo está localizada dentro do setor holandês do Mar do Norte. O bloco sísmico utilizado neste trabalho é conhecido como bloco F3 e dista aproximadamente 300 km de Amsterdam (Figura 01). Atualmente encontra-se em produção para óleo e gás sendo operado pela NAM (Nederlandse Aardolie Maatschappij BV).



**Figura 01.** Mapa de localização do bloco sísmico F3 (retângulo vermelho) no setor holandês do Mar do Norte. Imagem do Google Earth.



A Holanda é conhecida pelo seu grande potencial em reservas de óleo e gás, desde o descobrimento do campo gigante de Groningen em 1959. De acordo com Jager & Geluk (2007) o país possui no mínimo 56% de seu território (*onshore* e *offshore*) imageado com sísmica 3D de alta qualidade (Figura 02).



**Figura 02.** Figura de detalhe do setor holandês do Mar do Norte com indicação das áreas cobertas por levantamentos sísmicos 3D de alta qualidade. Elipse azul situa a área do bloco F3, utilizado nesse trabalho (Modificado de Jager e Geluk, 2007).

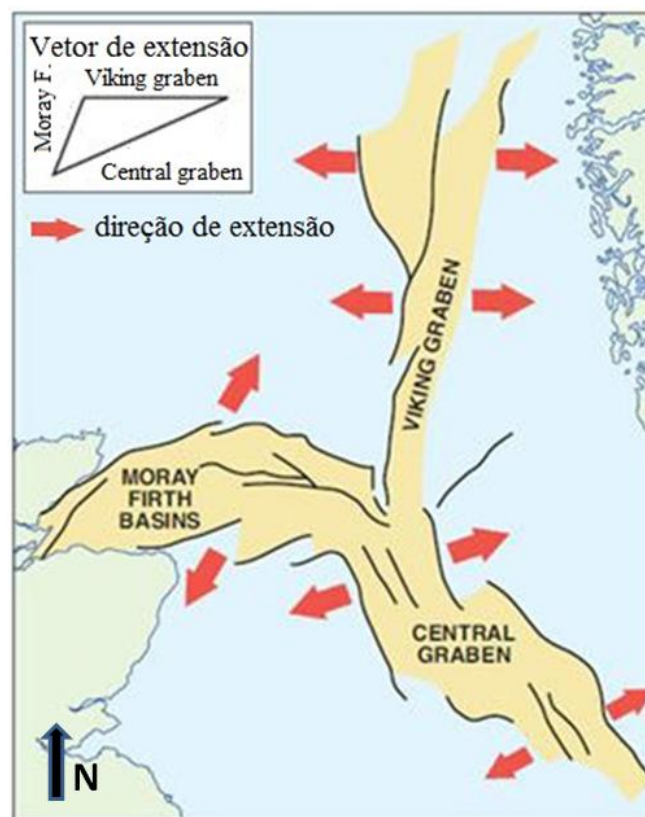
### 1.3.2 Contexto Geológico

O Mar do Norte evoluiu a partir de um braço de rifte abortado (Leeder, 1999) formado no Jurássico superior durante a abertura do proto-Atlântico Norte (Okman & Partington, 1998) sendo parte do mega-rifte do Atlântico Norte-Ártico (Ziegler 1989). Neste período ocorreu o soerguimento de um domo no Mar do Norte Central em resposta ao desenvolvimento de uma pluma térmica que levou a uma generalizada erosão na área central do Mar do Norte, vulcanismo e subsequente desenvolvimento de um sistema de rifte triplo (Glennie & Underhill, 1998). Esta junção tríplice (Figura 03) inclui o Viking *Graben*, *Central Graben* e bacia Moray Firth (Glennie & Underhill, 1998). O posterior colapso deste domo térmico resultou na criação da bacia Cenozóica do Mar do Norte, uma vasta bacia intracratônica em forma de pires (*saucer-shaped*). Essa bacia teve sua formação provocada por ajustes isostáticos devido à subsidência termal da litosfera durante a fase pós-rifte, subsidência essa acentuada pela alta carga sedimentar (Ziegler, 1990; Huuse, 2000). Nesse contexto, espaço disponível para acomodação foi preenchido por um espesso pacote sedimentar (Okman & Partington, 1998).

A sucessão Cenozóica pode ser subdividida em dois intervalos principais, separados por uma importante discordância do Mioceno médio (*MMU - Mid Miocene Unconformity*). Essa discordância registra um importante rebaixamento do nível do mar e limita estratos do Mioceno médio (Serravaliano) de outros mais recentes do Mioceno superior. Corresponde a um importante *marker* sísmico no Mar do Norte (Deegan & Scull, 1977) e está muito bem caracterizada na área de estudo. Durante a deposição do pacote inferior, no Paleogeno, a Bacia do Mar do Norte esteve exposta a condições de mar aberto, exceto durante períodos de soerguimento onde grande parte da bacia foi exposta. Esse intervalo inferior se caracteriza por um padrão de empilhamento agradacional e consiste principalmente de sedimentos com

---

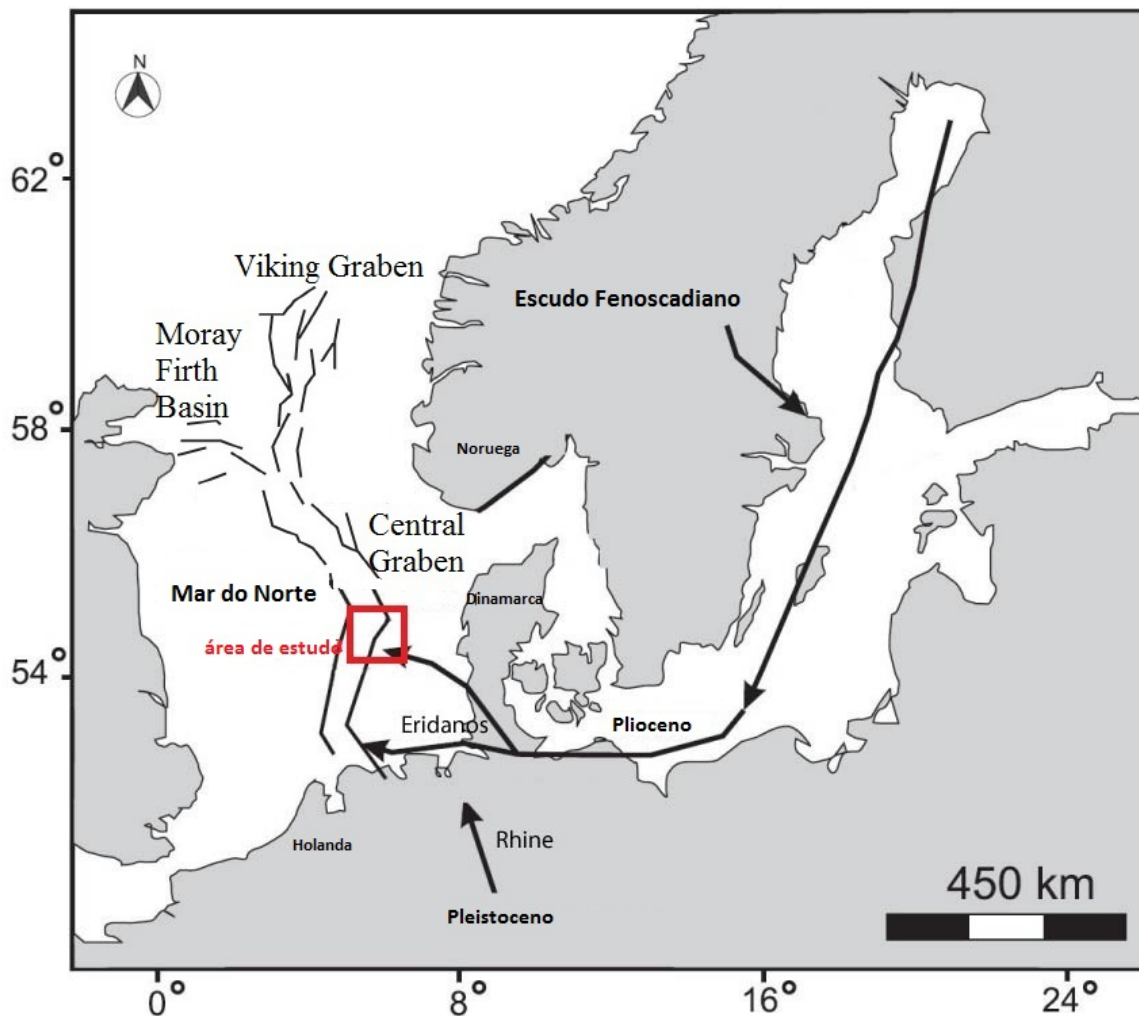
granulação fina (Steeghs *et al.*, 2000). Os sedimentos depositados na porção sul da Bacia do Mar do Norte (Setor holandês) também compreendem predominantemente a alternância de argila e silte arenoso. As subdivisões litoestratigráficas deste intervalo inferior são baseadas nessas alternâncias e na ocorrência de discordâncias regionais. O contraste litológico diminui em direção ao centro da bacia devido ao decréscimo na granulometria com o distanciamento da fonte continental (De Lugh, 2007). Já o pacote superior, que corresponde ao intervalo objeto deste estudo e será abordado em maior detalhe no item subsequente, consiste de sedimentos do Neogeno (Plio-Pleistoceno) organizados na forma de clinofomas deltaicas, muito bem desenvolvidas e que se expressam litologicamente por um padrão granocrescente. Essa progradação deltaica foi causada pelo soerguimento do Escudo Fenoscandiano (Overeem, *et al.*, 2001).



**Figura 03.** Ponto triplo do Mar do Norte e principais elementos tectônicos. As setas vermelhas indicam a orientação do stress. Modificado de Evans & Graham (2003).

### 1.3.2.1 Aporte Sedimentar durante o Plio-Pleistoceno no Mar do Norte

A sedimentação durante o Cenozóico superior na Bacia do Mar do Norte foi dominada por um grande sistema deltaico. Os sedimentos depositados no Graben Central durante o Plioceno e Pleistoceno (Figura 04) são em sua grande maioria oriundos do delta do então Rio Báltico. Já os depósitos mais recentes são oriundos da progradação do delta do Rhine (Funnell, 1996). Nesse contexto, um grande volume de sedimento foi depositado na Bacia do Mar do Norte durante esse intervalo de tempo, alcançando 1500 m de espessura no Graben Central (Ziegler, 1990).



**Figura 04.** Indicação das principais fontes de sedimento para dentro do Graben central ao longo do tempo geológico (modificada de Overeem *et al.*, 2001). A localização do bloco sísmico utilizado neste estudo está salientado em vermelho.

Goledowski *et al.* (2012) concluíram que a partir do Eoceno, mudanças climáticas controlaram as taxas de erosão, de fluxo de sedimento e os padrões de sedimentação. Nesse trabalho os autores argumentam que existe uma relação muito próxima entre clima frio, e consequente rebaixamento do nível do mar, e a progradação de cunhas siliciclásticas, assim como uma relação entre clima quente e incursões marinhas, com diminuição drástica do aporte sedimentar. Durante o Mioceno médio, após a formação da MMU, o clima tornou-se mais quente e o nível do mar subiu, o que pode ter resultado em taxas de sedimentação menores devido à baixa erosão e diminuição de sedimento disponível devido à subida do nível de base.

### **1.3.2.2 Sistema Deltaico Eridanos.**

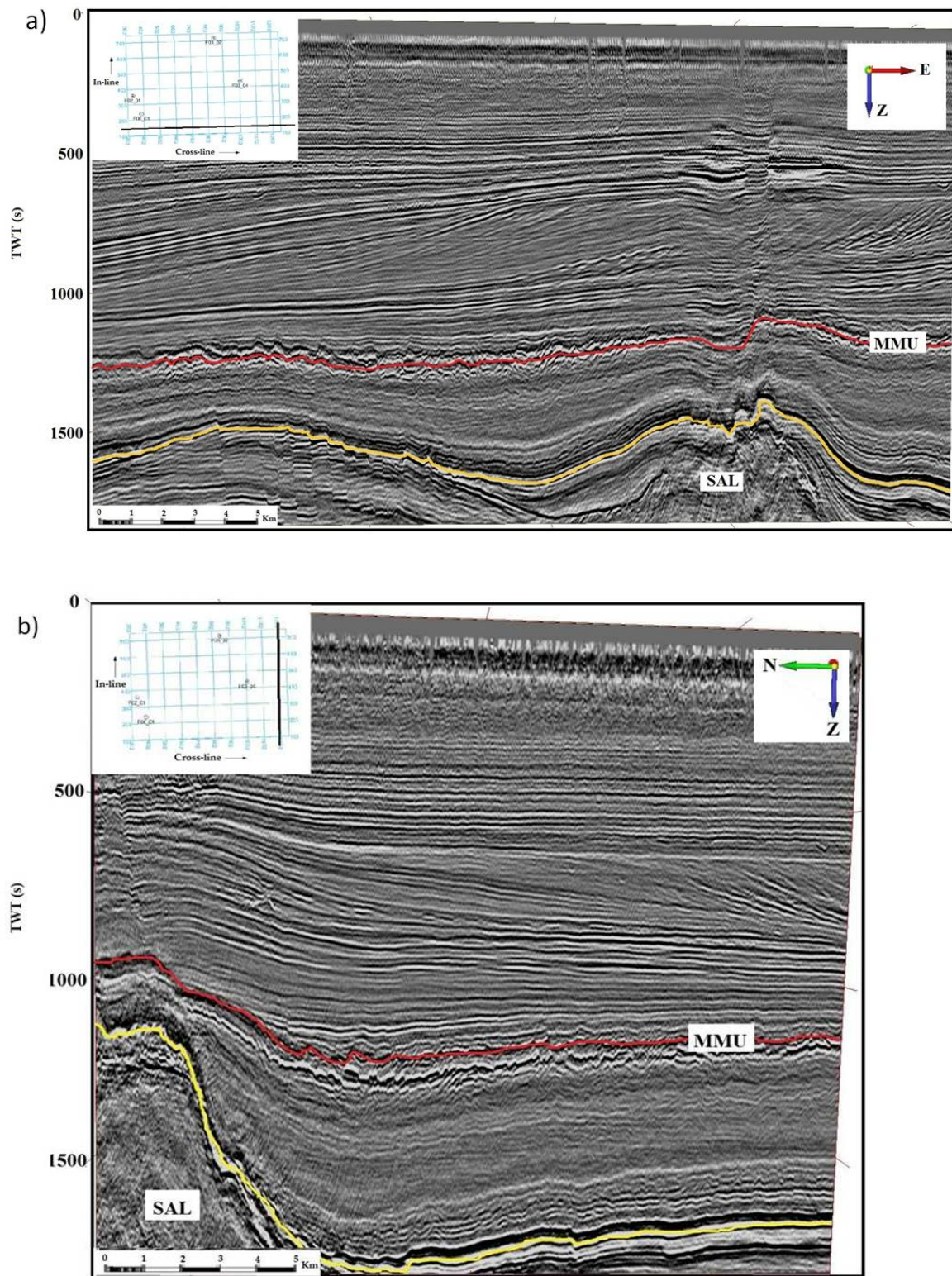
Durante o Cenozóico superior o Mar do Norte estava dominado por um grande sistema fluvial que drenava os escudos Fenoscandiano e Báltico e fluía através do atual Mar Báltico. A drenagem era referenciada como Rio Báltico (Bijlsma, 1981) enquanto o prodelta era nomeado Eridanos (Kosmowska-Ceranowicz, 1988). Overeem (2001) propôs chamar todo o conjunto como sistema flúvio-deltaico Eridanos, conceito esse adotado neste trabalho. Variações no suprimento (aporte sedimentar) para o sistema deltaico eram controladas por mudanças nas taxas de subsidência, variações climáticas e evolução da rede de drenagem do sistema. A acomodação era controlada pela eustasia, subsidência térmica, carga e compactação. O desenvolvimento desse sistema de drenagem é atribuído à elevação do Escudo Fenoscandiano no Neogeno simultaneamente com a subsidência da Bacia do Mar do Norte (Overeem, *et al.*, 2001).

Trabalhos anteriores (e.g. Kulhmann *et al.*, 2008; Overeem *et al.*, 2001) subdividem o pacote deltaico em sequências sismo-estratigráficas que terminam em *onlap* nas regiões

proximais situadas a norte e leste da bacia e em *downlap* nas áreas distais sobre o MMU. A unidade logo acima do MMU é recoberta por um intervalo condensado de sedimentos do Mioceno superior (Stuart & Ruuse, 2012). Esse intervalo condensado miocênico é seguido por clinoforamas oblíquas do Plio-Pleistoceno associadas ao sistema deltaico Eridanos. Essas clinoforamas possuem declividades acima de 10°, o que indica grande aporte sedimentar e uma taxa relativamente baixa de acomodação.

Debates sobre a origem do MMU ainda são comuns. Uma das hipóteses é que seja o resultado de uma subida relativa do nível do mar, combinação de eustasia com subsidência tectônica, ou de um aumento repentino no *input* sedimentar em uma bacia marinha profunda causada por mudanças climáticas (Huuse *et al.*, 2001). Uma outra hipótese ora aventada associa esta discordância a tectônica salífera, pois leva em conta que a geometria da MMU (Figura 05) e dos estratos paleogenos reproduzem, mesmo que de forma atenuada, a geometria dos domos de sal associados aos depósitos permianos do Grupo Zechstein bem como os depósitos do Neogeno preenchem está paleotopografia representada pela geometria da MMU.

Em geral, após o Mioceno médio o nível do mar permaneceu alto, com oscilações, porém não baixou mais ao nível que alcançou antes da ocorrência do MMU (Haq *et al.*, 1988). A parte central e sul do Mar do Norte foram provavelmente as mais profundas, com lâmina d'água de 130 a 400 m, estimadas a partir do porte das clinoforamas (Huuse *et al.*, 2001; Overeem *et al.*, 2001). A área de estudo (Bloco F3) recebia pouco sedimento durante o Mioceno médio, pois estava distante do principal *locus* de sedimentação. Com a progradação, as taxas de sedimentação na porção central do Mar do Norte aumentaram significativamente e no Plioceno o centro da deposição ocorria na área de estudo (Sørensen *et al.*, 1997; Overeem, 2001).



**Figura 05.** a) Linha sísmica inline #150, onde se destaca a influência do domo de sal (linha amarela) na morfologia do MMU (linha vermelha). b) crossline #1200 com delimitação do topo da camada salina (linha amarela) e marcação do MMU (linha vermelha). Nas duas figuras é possível ver sua localização no mapa esquemático do cubo sísmico F3 (quadrado no topo esquerdo).

Kulhmann (2006 e 2008), estudando uma área (Bloco A 15) próxima da região abordada neste trabalho, caracterizou cinco intervalos no Plio-Pleistoceno que registram o progressivo resfriamento climático da região, desde condições temperadas até árticas. Durante o primeiro intervalo, prevaleceu o clima temperado e condições deposicionais de mar aberto. O segundo (marinho franco a restrito) e o terceiro (marinho restrito) intervalos foram caracterizados pela alternância entre condições climáticas frias a temperadas. No quarto (marinho raso) e quinto (fluvial) intervalos o clima era de frio extremo (ártico). Sabendo que a sedimentação está associada com as mudanças climáticas, nesse trabalho optamos por selecionar dois refletores pertencentes a diferentes intervalos. O primeiro refletor mapeado pertence ao segundo intervalo (marinho franco a restrito em clima temperado) e o segundo refletor pertence ao quarto intervalo (marinho raso em clima glacial).

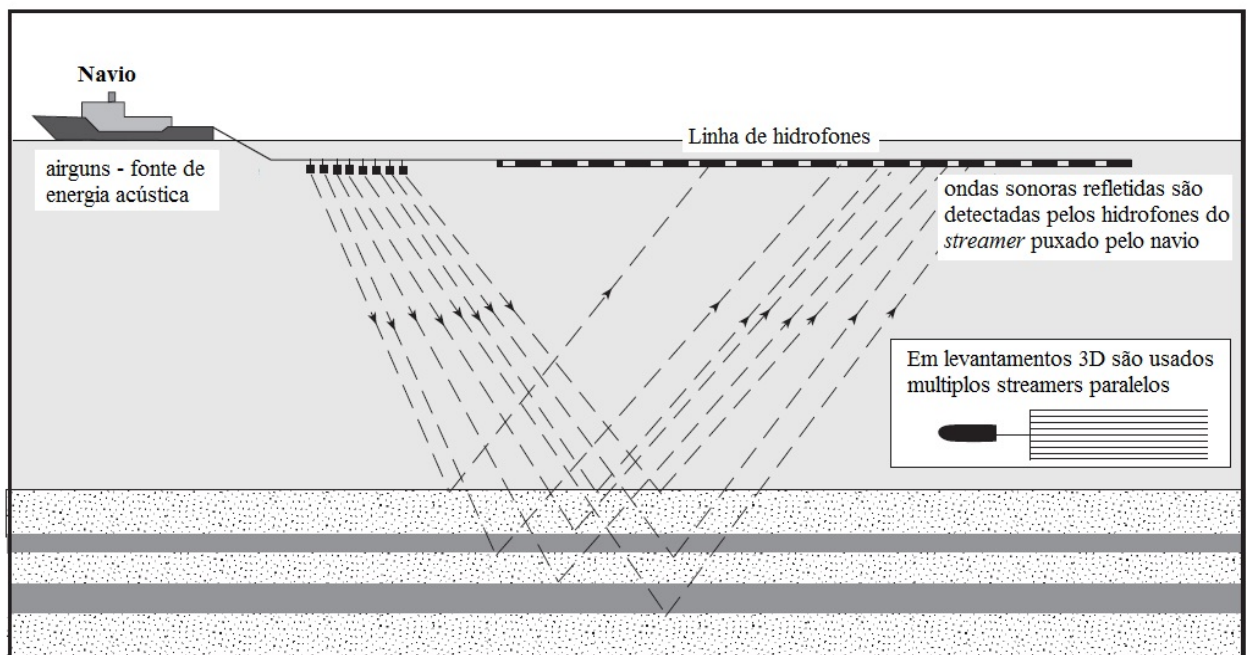
## **1.4 FUNDAMENTOS CONCEITUAIS**

### **1.4.1 A Sísmica de Reflexão**

Em um levantamento sísmico, as ondas são geradas artificialmente por uma fonte com energia controlada (explosivos, ar comprimido, queda de pesos ou vibradores) e se propagam em subsuperfície. Onde as propriedades das rochas se alteram, uma parte da energia é transmitida para as demais camadas e outra parte é refletida retornando à superfície, onde então serão detectadas por sensores (geofones ou hidrofones). Através da geração de ondas sísmicas, e observando-se o tempo de chegada destas ondas nos sensores, é possível localizar interfaces onde as ondas são refletidas e refratadas. O sinal é refletido sempre que a onda encontra um material com impedância acústica diferente daquele onde está se propagando. O contraste entre as camadas muitas vezes é mínimo.



O método sísmico consiste então em medir a intensidade e o tempo de chegada das ondas sísmicas aos geo(hidro)fonos após terem sido refletidas. A partir do tempo de chegada é possível reconstruir a trajetória das ondas P e delimitar a disposição dos horizontes sísmicos (Figura 06) ao longo do perfil, sabendo que as ondas sísmicas viajam com diferentes velocidades em diferentes tipos de rochas.



**Figura 06.** Arranjo de aquisição para sísmica 3D, o navio equipado com a fonte de energia (*airgun*) reboca um cabo com hidrofones (*streamer*) que recebe o sinal que é refletido cada vez que o sinal acústico encontra uma interface em subsuperfície (modificado de Nichols 2009).

A clareza com que estes dados de reflexão surgem, depende do coeficiente de reflexão, este uma função da amplitude da onda incidente e refletida, da diferença de densidade entre o material inferior e superior e da relação da velocidade de propagação das ondas P entre ambos os materiais. Quanto maior a diferença de impedância acústica entre os materiais limitados por uma superfície, mais intensa será a reflexão e, portanto maior será a atenuação da onda transmitida.

Então, para que se disponha de dados sísmicos em condições de serem interpretados, e assim ter todas suas características estudadas, é necessário uma sequência de procedimentos que inicia com a aquisição, passa pelo processamento e finaliza com a interpretação do registro. A aquisição implica na escolha da fonte e dos equipamentos, no planejamento do arranjo e do número de geofones ou hidrofones, entre outros aspectos. O processamento inclui o uso de diversas rotinas computacionais e algoritmos que visam eliminar ruídos e outros efeitos indesejáveis que mascaram as reflexões geologicamente significantes. E a interpretação implica no uso dos fundamentos geológicos para entender os dados sísmicos. A sísmica 3D consiste na aquisição 2D com espaçamento entre as linhas muito menor que a usual, somado a uma alta precisão de navegação. Quando manipulado em computadores (processamento), esses dados resultam numa representação volumétrica das propriedades dos materiais atravessados, com informações X-Y-Z georreferenciadas.

#### **1.4.2 Sismo-Estratigrafia**

Com as grandes descobertas de campos petrolíferos, na década de 60, teve-se uma ampla busca por dados e informações de muitas bacias, implicando no conhecimento das principais e maiores feições estruturais das bacias até então conhecidas. As empresas então buscavam encontrar novos métodos que possibilitassem a identificação dos denominados *plays* estratigráficos. Duas vertentes surgiram então: uma entre técnicos da empresa de petróleo Exxon, liderados por P. R. Vail, cujos conceitos evoluíram vinculando as unidades sísmo-estratigráficas às oscilações eustáticas e, outra, entre professores da Texas University at Austin, capitaneados por W. L. Fischer e L. F. Brown Jr., com participação de técnicos da PETROBRAS, a qual enfatiza a interpretação de sistemas deposicionais a partir de dados sísmicos (Ribeiro 2001).

Rezende e Ferradaes (1971) publicaram um dos primeiros artigos com interpretação estratigráfica de linhas sísmicas, onde identificaram paleocanais em sedimentos cenozóicos da Bacia do Foz do Amazonas. Porém o marco na interpretação sismo-estratigráfica no Brasil foi a publicação de Fisher *et. al.* (1973), onde é apresentada uma detalhada interpretação da estratigrafia dos sedimentos clásticos e carbonáticos do Cretáceo/Terciário da Bacia do Sergipe/Alagoas aplicando os então recentes conceitos de sistemas deposicionais.

O conceito de estratigrafia sísmica (Vail *et al.*, 1977) aplicados à análise de bacias têm provado ser de grande auxílio na reconstrução da geometria e no entendimento evolutivo de sequências sedimentares e seus sistemas deposicionais. Seu princípio fundamental é que, dentro da resolução do método sísmico, as reflexões sísmicas podem ser associadas às superfícies de acamamento e podem representar horizontes com significado cronoestratigráfico (Emery & Myers, 1996).

Por definição, fácies sísmica é uma unidade tridimensional, formada por reflexões sísmicas em que os parâmetros internos diferem das fácies adjacentes (Brown & Fischer, 1977). Parte-se da premissa que corresponde a uma expressão da variação de fácies geológica ou mesmo uma expressão de um componente estrutural, desde que os parâmetros sísmicos que a caracterizam, assim como sua forma externa, estejam delimitados.

Fisicamente, as reflexões sísmicas são o resultado do contraste de impedância acústica na interface entre camadas (impedância acústica é o produto da densidade e da densidade e da velocidade sísmica em um determinado meio). Sendo assim, estabelece-se o axioma de que os refletores representariam linhas de tempo, separando rochas mais antigas de rochas mais novas.

A interpretação sísmica, apoiada principalmente em dados multi-atributos 3D, possibilita a identificação mais concreta de elementos estruturais e estratigráficos que, juntamente com as informações de poço, minimiza possíveis erros de interpretação.

Os refletores se agrupam em unidades sísmicas, que têm seus limites marcados por paralelismo ou angularidade em relação às terminações de refletores. A principal análise a ser feita é a observação e caracterização das terminações dos refletores sísmicos, separando-os em unidades sismo-estratigráficas. Os principais padrões de terminação (Figura 07) de refletores utilizados na estratigrafia sísmica são: *lapout*, *onlap*, *downlap*, *toplap*, truncamento e concordância ou conformidade.

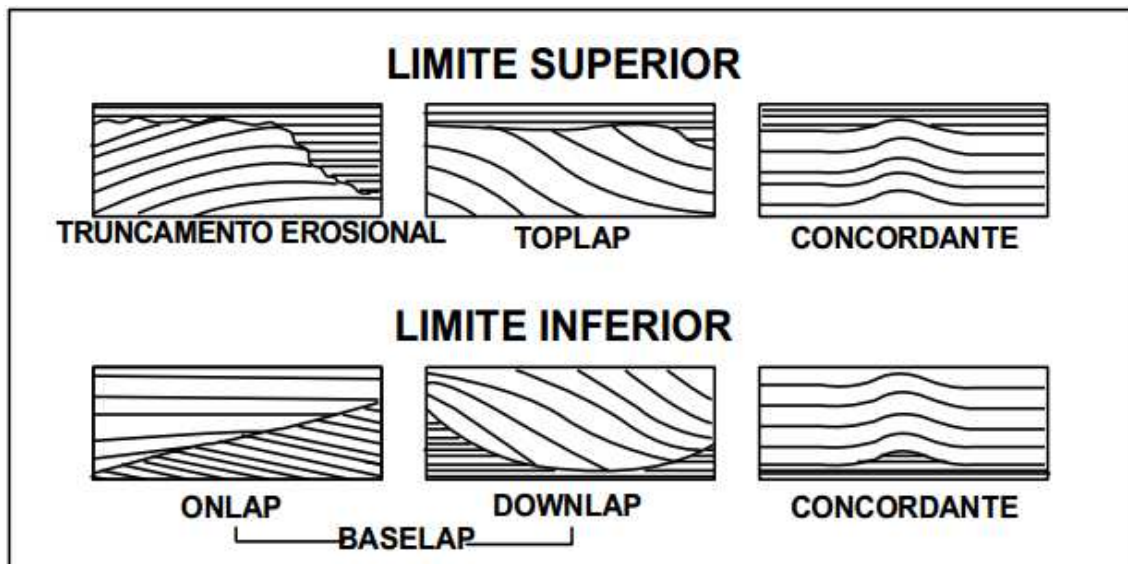
O *lapout* ocorre quando os refletores ocorrem em seus limites deposicionais originais, ele pode ser um *baselap*, quando ocorre no limite inferior de uma unidade sísmica, ou *toplap*, quando ocorre no limite superior. O *baselap* pode ocorrer de duas maneiras distintas:

*Onlap*: quando uma reflexão inicialmente horizontal termina contra uma superfície inicialmente horizontal, termina contra uma superfície inicialmente inclinada ou quando uma reflexão inclinada termina mergulho acima contra uma superfície de maior inclinação.

*Downlap*: quando uma reflexão inicialmente inclinada termina mergulho abaixo contra uma superfície inicialmente horizontal ou inclinada.

No *toplap* as reflexões terminam lateralmente, diminuindo gradualmente de espessura mergulho acima e ascendendo ao limite superior assintoticamente. No truncamento os estratos terminam lateralmente por terem sido seccionados de seu limite deposicional original, podendo ser erosional ou estrutural. A concordância/conformidade ocorre quando as reflexões

de duas unidades sísmicas ou sequências adjacentes se apresentam paralelas com a superfície que as delimitam e pode ocorrer no topo ou na base da unidade sísmica (Ribeiro, 2001).



**Figura 07.** Padrões de terminações de refletores, nos limites superior e inferior, de uma sequência sísmica (apud Ribeiro, 2001, modificado de Mitchum Jr *et al.*, 1977).

As configurações paralelas / subparalelas indicam uma taxa de sedimentação uniforme sobre um substrato estável ou uniformemente subsidente. As configurações divergentes indicam uma variação em área na taxa de deposição, inclinação progressiva do substrato ou os dois fatores em conjunto. As configurações progradantes ocorrem quando os estratos superpõem-se lateralmente, padrão esse também denominado clinofoma. Os diferentes tipos de clinofomas ocorrem em função de variações na razão de deposição e profundidade da lâmina d'água (Ribeiro, 2001).

Um dos pressupostos básicos da sismo-estratigrafia é que as reflexões sísmicas são produzidas devido ao contraste de impedância acústica entre superfícies físicas que apresentam um caráter temporal geologicamente significativo (cronoestratigráfica).

As reflexões sísmicas não correspondem necessariamente a um contato litológico, pois muitas vezes esse contato ocorre de modo gradacional mascarando a interface entre diferentes litologias superpostas ou adjacentes, sendo assim, a impedância não é totalmente confiável para indicar troca deste parâmetro, não apresentando, obrigatoriamente, correspondência com os limites das unidades litoestratigráficas, Muitas vezes os limites destas unidades são arbitrários e cortam linhas de tempo, sendo, portanto diácronos.

Existem algumas reflexões que de fato cortam linhas de tempo. Algumas delas são múltiplas e difrações, ou seja, não correspondem a feições geológicas e sim a artefatos indesejáveis do método sísmico. As reflexões que cortam linhas de tempo e são relacionadas à geologia podem evidenciar contato entre fluidos (água/gás), *bright spots* (presença de fluido nos poros da rocha) ou mudanças diagenéticas (cimentação do espaço poroso). O mapeamento e reconhecimento dessas superfícies, que tendem a serem fortes refletoras, são fundamentais para a correta elaboração do arcabouço cronoestratigráfico de uma bacia sedimentar, principalmente quando a proposta é subdividir o preenchimento em sequências.

### **1.4.3 Estratigrafia de Sequências**

A Estratigrafia de Sequências desenvolveu-se fundamentalmente como um método interdisciplinar, focado na análise das variações de padrões de empilhamento de sucessões estratigráficas e na delimitação de sequências genéticas definidas por superfícies-chave (estratigráficas), nos âmbitos espaciais (espessura e extensão lateral) e temporais (cronoestratigráfico). Os padrões de empilhamento estratigráfico correspondem às inter-relações entre o espaço de acomodação (espaço disponível para o preenchimento de sedimentos) e o aporte sedimentar, e reflete as combinações de *trends* deposicionais que incluem progradação, aggradação e retrogradação.

Os principais fundamentos vieram da publicação do AAPG *Memoir* #26 (Payton, 1977) e dos anos que sucedem (Vail *et al.*, 1984, Wilgus *et al.*, 1988), causando grande impacto no campo da geologia sedimentar. Dentre outras coisas, o *Memoir* #26 apresenta os princípios e técnicas da sismoestratigrafia ainda hoje utilizadas para descrever e interpretar seções sísmicas de reflexão; o significado cronoestratigráfico dos refletores sísmicos e a proposição clássica de sequência deposicional de Mitchum *et al.*, 1977).

A partir da década de 70, o advento da sísmica de reflexão multicanal com a técnica CDP (*Common Depth Point*) foi a grande impulsionadora da “nova estratigrafia” em paralelo com a melhoria de técnicas de processamento de dados sísmicos 2D. A sísmica 3D tornou-se um marco histórico na evolução do imageamento de dados sísmicos, trazendo consigo uma maior capacitação da visualização volumétrica em modernas estações de trabalho e softwares atuais disponíveis no mercado.

#### **1.4.4 Tratos de Sistema**

Enquanto Fischer e McGoven (1967) desenvolveram os conceitos de sistemas de sistemas deposicionais, Mais tarde, Brown e Fischer (1977) introduziram o conceito de sistemas deposicionais contemporâneos chamados de tratos de sistema. Esses elementos, limitados por superfícies estratigráficas chaves, correspondem constituem p arcabouço sismo-estratigráfico de uma bacia.

Os tratos de sistemas de mar alto; de margem de plataforma; de mar baixo; e transgressivo (Figura 08) são baixo descritos conforme conceito de VAIL (1987).

- Trato de sistema de mar alto - caracteriza-se por um conjunto sigmoidal de estratos progradantes, com padrão de empilhamento de parasequências inicialmente agradacional que passa para progradacional. Sua base está associada a uma seção condensada, chamada de

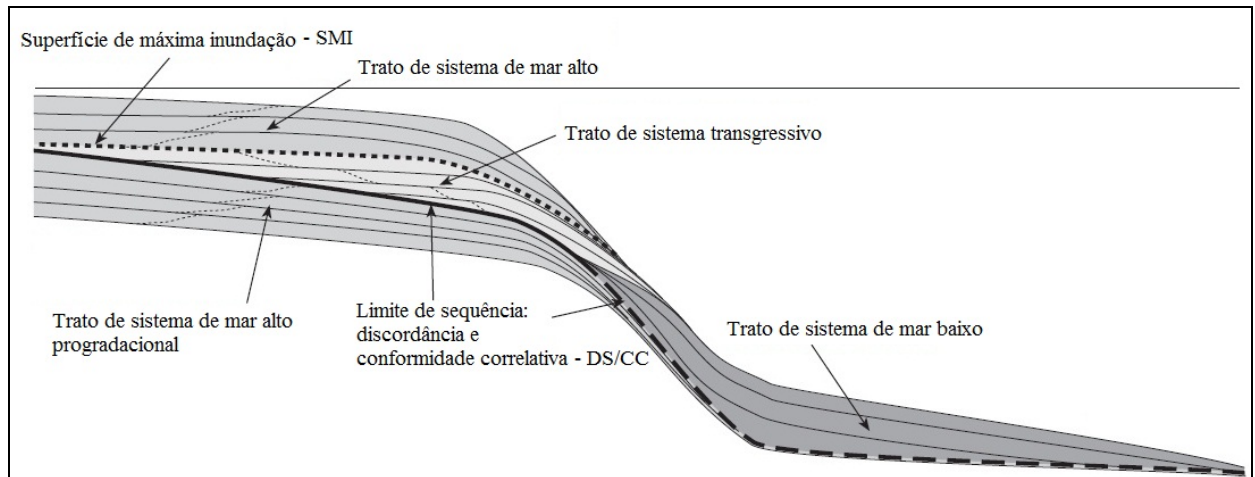
superfície de máxima inundação, que corresponde a depósitos gerados em grandes intervalos estratigráficos, com baixas taxas de deposição (menor que 1 cm/1000 anos), podendo ser associada a hiatos, que marcam momentos maiores de paleopropriedade da bacia, relacionados a intervalos com pouca ou nenhuma deposição terrígena podendo ser ricos em matéria orgânica;

- Trato de sistema de mar baixo - provém da queda do nível do mar, ou seja, quando a queda eustática excede a taxa de subsidência permitindo até uma subsequente subida eustática. Pode ser dividido em leques de nível de mar baixo e cunhas de nível de mar baixo. Os leques de nível de mar baixo são depositados diretamente no sopé continental e fundo de bacia, originados do transpasse (*by-pass*) sedimentar através de vales incisos na plataforma. Já as cunhas de mar baixo são associadas a leques de talude que correspondem a depósitos turbidíticos e de fluxo de detritos, e por preenchimento de cânions. O limite superior desse trato é marcado por uma superfície transgressiva;

- Trato de sistema estágio de queda – corresponde ao delta de mar baixo de Posamentier *et al.*, 1988 e foi separado em um trato no início da década de 1990 sendo assim nomeado *falling stage system tract* – FSST por Ainsworth. Esse trato inclui estratos acumulados em uma bacia sedimentar durante a regressão forçada da linha de costa. O trato de sistema estágio de queda é limitado no topo por uma concordância subaérea e conformidade correlativa. E na base é limitado pela superfície de regressão forçada.

- Trato de sistema transgressivo – compreende uma sucessão de parasequências retrogradacionais, caracterizando uma sucessão de eventos inundantes e podendo estar associado com concentração de minerais autigênicos e amplos depósitos carboníferos. O topo desse trato de sistema transgressivo é marcado por uma superfície de *downlap*.





**Figura 08.** Modelo da geometria e padrão de terminação dos refletores, tratos de sistemas deposicionais e limites de sequência (modificado. de Nichols G., 2009).

#### 1.4.5 Correntes de Turbidez, Hiperpicnais e de Contorno.

A diferenciação, em escala de bacia, entre processos gravitacionais, principalmente turbidíticos e processos relacionados a correntes de contorno em águas profundas (contornitos), é extremamente complicada, uma vez que ambos os processos podem ocorrer associados. Analisando apenas perfis sísmicos, a distinção entre as sismofácies depositadas por turbiditos e correntes de contorno permanece, em muitos casos, ambígua.

Entretanto, há critérios hidrodinâmicos, feições morfológicas e sedimentológicas bem estabelecidas para o reconhecimento e diferenciação de turbiditos e contornitos, sendo a geomorfologia sísmica uma ferramenta de grande ajuda nessa diferenciação.

São chamados de contornitos os arenitos retrabalhados por correntes de fundo (correntes de contorno), que são correntes termo-halinas que ocorrem ao longo do contorno dos continentes a partir dos pólos para o equador (Della Favéra, 2001). Por definição, contornitos são constituídos de sedimentos remobilizados do fundo oceânico, gerados por

correntes competentes que persistem por um determinado tempo, fluindo em águas profundas ao longo da região do talude (Lovell e Stow, 1981).

As correntes de contorno costumam ser profundas, contínuas e competentes, com velocidades e direções que variam em função da energia cinética do fundo oceânico (Viana *et al.*, 1998). Nessas correntes há o predomínio de longas deposições sedimentares (semanas e meses), associadas à baixa velocidade da corrente. Entretanto, eventualmente há episódios erosivos curtos de dias ou semanas, com altas velocidades da corrente, os quais são associados a tormentas. Essas tormentas podem mostrar uma decantação do material ressuspenso e transportado por longas distâncias, antes de ser depositado nos contornitos (Hollister e McCave, 1984).

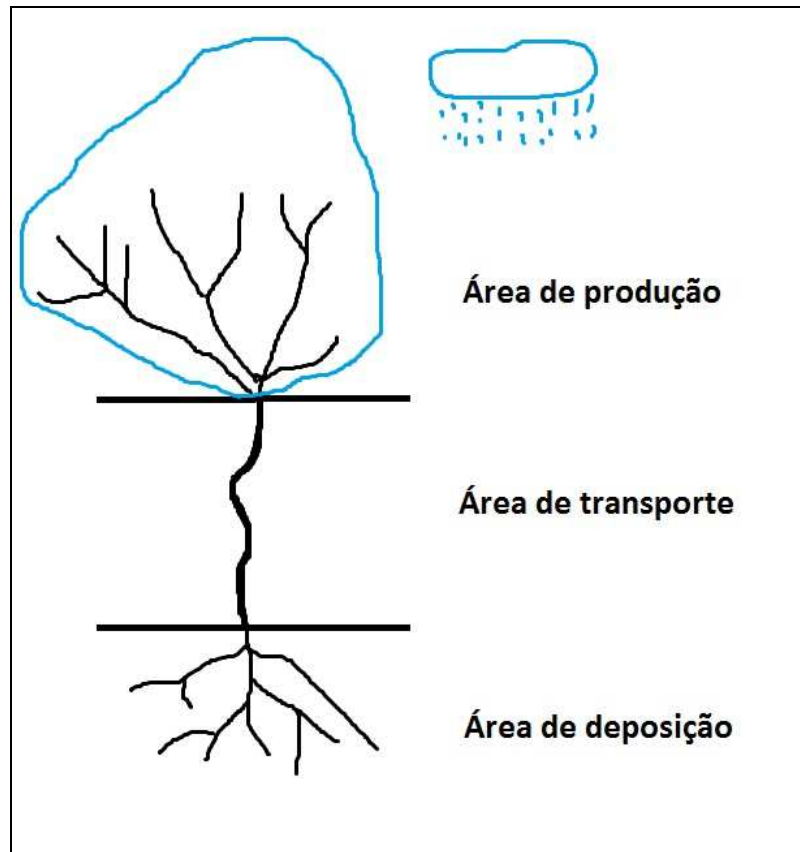
De uma maneira geral, nos períodos de instabilidade climática, durante a transição entre a era glacial e interglacial, as atividades das correntes de contorno tornam-se mais evidentes (Faugères *et al.*, 1993).

Existe uma tendência de associar os depósitos turbidíticos a tratos de sistema de mar baixo. Entretanto esse raciocínio não serve para os contornitos uma vez que seria mais fácil associá-los a períodos com correntes oceânicas de média intensidade e com baixa formação de turbiditos, pois esses mascaram o retrabalhamento dos sedimentos pelas correntes (Faugères *et al.*, 1993).

Efluentes fluviais ao adentrarem uma bacia receptora (lago ou mar) formam fluxos que podem ser classificados como hiperpicnais, homopicnais e hipopicnais, dependendo da razão entre a densidade do influxo e do meio receptor. O conceito de corrente hiperpicnal foi introduzido por Bates (1953), como um fluxo de sedimento e água fluindo junto à base de uma coluna de água pela ação de forças gravitacionais diferenciais, as quais são devido à

diferença de densidade entre a corrente e o meio. As correntes hiperpicnais estão fortemente correlacionadas às cheias fluviais, uma vez que elas fornecem densidade necessária à mistura de água e sedimento, para que este evento ocorra e se mantenha ativo de um tempo determinado (Mulder & Syvitski, 1995; Wheatcroft, 2000; Mulder *et al.*, 2003). Os fluxos hiperpicnais ocorrem normalmente quando um fluxo de água doce (rios) deságua no mar e desenvolvem-se em contextos turbulentos, podendo ser a explicação para alguns tipos de turbiditos (Della Favéra, 2001).

De uma maneira geral, em estudos de geologia marinha, existe uma tendência em priorizar estudos com redes de canais distributários, que segundo Schumm (1977) ocorrem na zona de deposição do sedimento (Figura 09). Segundo esse autor, o sistema fluvial como um todo é tripartido, sendo composto pelas zonas de produção, transporte e deposição de sedimentos. Esses elementos não são espacialmente excludentes, interagindo entre si. Para compreender as inter-relações, ou algum dos elementos em separado; é necessário compreender o comportamento dos rios, o aporte de água na zona fonte de sedimento, qual a quantidade e tipo de sedimento disponível, como são os controles climáticos e geológicos e como eles afetam o sistema como um todo, além de informações quanto ao uso do solo e cobertura vegetal e sua relação com as zonas do sistema fluvial. Nesse trabalho analisaremos uma rede de canais tributários (zona de produção de sedimentos) alimentando canais principais submarinos (zona de transporte de sedimentos). A zona de deposição do sedimento não se encontra visível no cubo sísmico utilizado neste estudo.



**Figura 09.** Modelo esquemático segundo Schumm 1987 para sistemas fluviais.

#### 1.4.6 Geomorfologia Sísmica

A estruturação da geomorfologia iniciou-se pelos trabalhos pioneiros de Hutton (1788). Sua unidade elementar é a geoforma, definida como um corpo tridimensional que tem forma, tamanho, volume e topografia conhecidos.

As classificações geomorfológicas clássicas estão sendo utilizadas na geomorfologia sísmica. Nesse contexto, a geoforma tem uma gênese que explica os materiais que a formaram. As rochas formam diferentes tipos de depósitos com diferentes geoformas, tais como: deltas, leques, terraços, canais, lobos ou planícies. Apenas mais recentemente os princípios geomorfológicos começaram a ser aplicados como ferramenta auxiliar na análise

sismo-estratigráfica (Carter, 2003, Posamentier e Kolla 2003). Esta integração entre geomorfologia sísmica e estratigrafia de sequências envolve diferentes tecnologias de visualização, de análises de atributos e de mapeamento para o entendimento da evolução de uma bacia.

A geomorfologia sísmica, termo definido por Posamentier e colegas em 2007, envolve muitas ferramentas, tais como: Análise de fácies sísmicas (UVQ), corte na camada depositada (*depositional slicing*) e decomposição espectral. O propósito é entender o ambiente deposicional para uma localização mais precisa do reservatório.

A geomorfologia sísmica somente é aplicada em sísmica 3D, pois precisa do corte em tempo para gerar o que seria equivalente a imagens de satélite da subsuperfície.

Com a melhora na qualidade dos dados de sísmica 2D, a partir do começo da década de 1970, noções estratigráficas começaram a ser extraídas de dados sísmicos. A suposição que as amplitudes das reflexões sísmicas se aproximam de linhas de tempo geológico foi fundamental para o desenvolvimento da estratigrafia de sequência (Vail *et al.* 1977).

Posamentier *et al.* (2007) definiram geomorfologia sísmica como sendo a extração das feições geomorfológicas usando predominantemente dados de sísmica 3D. Fatias horizontais, fatias achatadas em tempo e fatias proporcionais derivadas de volume de sísmica 3D fornecem imagens com vista em planta da amplitude e da distribuição de outros atributos que estão fortemente relacionados com ambientes deposicionais (Posamentier *et al.*, 2007).

A constante evolução dos computadores e dos softwares ao longo do tempo permite que cada vez tenhamos volumes maiores de dados de um cubo sísmico sendo manipulado e interpretado ao mesmo tempo, reduzindo o tempo do processamento e interpretação. Esses

dados analisados em softwares específicos fornecem mapas com vistas em planta, fatiadas em tempo geológico de cada elemento deposicional, permitindo assim a interpretação do sistema deposicional. As imagens em planta geraram dados que mostram formas de relevo soterradas, feições essas salientado por Posamentier (2000), quando o tema passou então a ser mais divulgado.

#### **1.4.7 Atributos sísmicos**

Os atributos sísmicos são usados para enfatizar uma característica desejada, a qual não é diretamente ou claramente identificada nos dados sísmicos brutos. Segundo Taner *et al.* (1979), atributos sísmicos são quaisquer informações obtidas através de dados sísmicos, ou seja, através de medições diretas. Eles podem ser obtidos a partir de dados ainda não empilhados, como é o caso do atributo da variação de amplitude com o afastamento da fonte, *AVO (amplitude variation with offset)*, ou podem ser obtidos a partir de dados já empilhados, como é o caso do atributo usado nesse trabalho. Dentre os vários atributos existentes, alguns podem ser usados como indicadores de hidrocarbonetos, outros como indicadores de falhas geológicas, ou seja, dependendo do tipo de análise em questão, deve-se escolher o tipo adequado de atributo. Devido à grande quantidade de atributos sísmicos disponíveis, é preciso saber com precisão o que buscamos visualizar melhor, logo o entendimento da geração dos atributos é fundamental para análise correta. Dessa forma, nesse trabalho foram aplicados atributos básicos do traço sísmico complexo, por exemplo, a amplitude instantânea, pois o objetivo era salientar variações litológicas.

Os atributos sísmicos podem ser gerados de diversas maneiras. Dentre várias formas de classificação, os atributos sísmicos gerados após o empilhamento, podem ser classificados como:

- baseados na seção sísmica;
- baseados em eventos ou horizontes;
- volumétricos;

Os atributos sísmicos baseados em seção sísmica são resultados de um processamento específico em toda uma seção com o objetivo de realçar alguma característica de interesse. Geralmente, são gerados a partir da análise do traço sísmico complexo (Taner *et al.*, 1979).

Os atributos sísmicos baseados em eventos são extraídos da sísmica usando um horizonte como referência. Podem ser criados da seguinte forma:

- Usando valores instantâneos ao longo do traço;
- Usando valores em torno da superfície de referência usando um único traço sísmico;
- Usando valores em torno da superfície de referência usando vários traços sísmicos.

Logo, a utilização de valores do traço sísmico para o cálculo do atributo, serve para melhorar a relação sinal-ruído e enfatizar os aspectos relevantes do atributo. O algoritmo para o cálculo dos atributos do traço complexo é designado para fornecer valores exatos para cada amostra no tempo.

#### **1.4.8 Amplitude Instantânea**

A amplitude instantânea também pode ser chamada de amplitude do envelope. O envelope do traço pode ser descrito como uma função com pequenas variações que conecta os picos de maiores amplitudes da onda ou de intensidade da reflexão (*reflection strength*),

---

sendo definido como a raiz quadrada da energia total do sinal sísmico em um instante de tempo, ou seja, é a amplitude da energia sísmica total do traço sísmico num instante qualquer e descreve o fluxo de energia na subsuperfície. Simplesmente é a amplitude do traço sísmico complexo e é independente do sinal e da fase (Taner *et al.*, 1979).

A amplitude Instantânea pode ser calculada obtendo a raiz quadrada da soma dos quadrados das componentes reais e imaginárias, e aplicando esse valor para cada amostra do traço em um determinado instante de tempo, sendo definida como:

$$A(t) = \sqrt{r^2(t) + g^2(t)}$$

Esse atributo (que traz informações de amplitude do traço sísmico) pode ser usado como um discriminador efetivo para as seguintes características:

- Contraste de impedância acústica laterais, ou seja, a refletividade.
- Eventos *brigh spots*, que são possíveis acumulações de gás.
- Limites de sequências sísmicas e mudanças de litologia.
- Discordâncias.
- Identificação de canais.

As fortes reflexões de energia podem ser associadas às principais mudanças litológicas, assim como acumulações de óleo e gás.



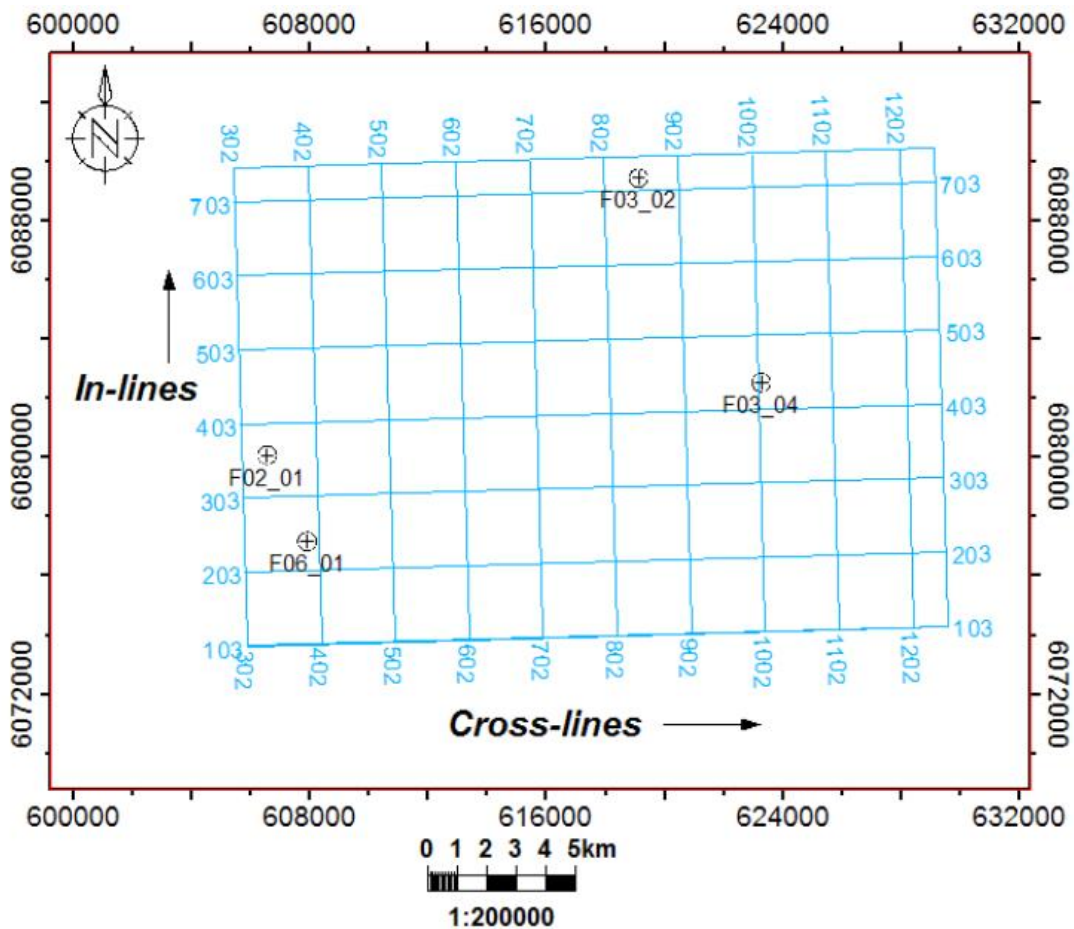
## 1.5 MATERIAIS E MÉTODOS

O cubo sísmico utilizado neste trabalho é chamado de F3 e encontra-se na porção mais rasa da Bacia do Mar do Norte, com profundidades que não ultrapassam 40 metros de coluna d'água. O cubo cobre uma área de 16 x 23 km<sup>2</sup>, e é composto por 646 *inlines* (linhas adquiridas na direção de navegação do navio), 947 *crosslines* (linhas perpendiculares à direção de navegação do navio) e informações de quatro poços (Figura 10).

Para a visualização, manipulação e interpretação dos dados sísmicos foi utilizado o *software* livre OpendTect, o qual permite que o cubo sísmico seja visualizado nas dimensões x-y-z.

Os dados foram adquiridos em 1987 visando à exploração de óleo e gás no Jurássico superior e Cretáceo inferior da bacia do Mar do Norte, sucessões essas que ocorrem abaixo do Paleogeno e do intervalo analisado. Do conjunto de dados disponibilizado gratuitamente desde 2006 no site da dGB Earth Sciences – OpendTect, optou-se pelo estudo dos refletores pertencentes ao Mioceno tardio e, em especial, ao Plioceno e Pleistoceno. Para fazer a correlação com os dados sísmicos, foram disponibilizadas informações de quatro poços:

- F02–1 (Caliper, Densidade, GR, P-Wave, Porosidade)
- F03–2 (Densidade, GR, P-Wave, Porosidade)
- F03–4 (Densidade, GR, P-Wave, Porosidade)
- F06–1 (Densidade, GR, P-Wave, Porosidade)

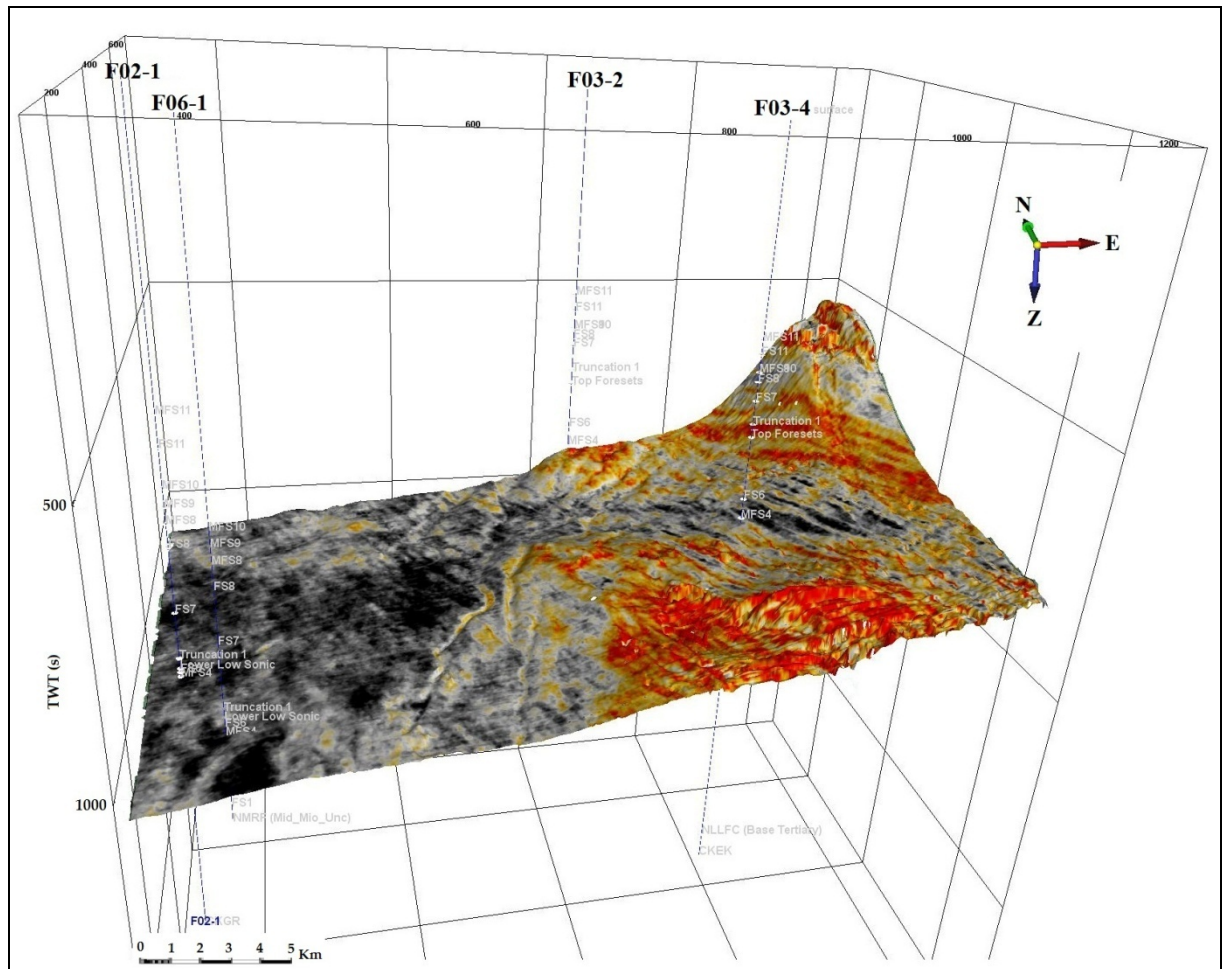


**Figura 10.** Mapa da distribuição das linhas no cubo sísmico do bloco F3 e indicação das locações dos quatro poços. Imagem disponibilizada no site do Opendetect.

As informações dos poços foram importantes como guias para o mapeamento das superfícies (Figura 11). Como os poços estão bem distribuídos dentro do cubo foi possível amarrar a superfície mapeada com a sísmica e, ao chegar à região dos poços, confirmar se o mapeamento estava correto.

Uma das primeiras atividades iniciadas, mas que continuou a ser executada ao longo de todo o trabalho, foi a compilação e a revisão biobibliográfica acerca da área de estudo. Esta atividade auxiliou de forma significativa a definir, contextualizar e interpretar o intervalo de

estudo. Além disso, foi necessário conhecer o software e entender sobre o correto carregamento dos dados. Nesse sentido, um estágio de quatro semanas no Laboratório de Sísmica 3D da Universidade de Cardiff (UK) foi de suma importância para a familiarização acerca da manipulação de dados sísmicos 3D.



**Figura 11.** Mapa de distribuição dos poços ao longo do cubo sísmico F3. Durante o mapeamento as informações dos poços foram usadas exclusivamente para garantir que estava se seguindo o refletor correto.

Após essa etapa inicial foi realizado o reconhecimento dos principais refletores ocorrentes no intervalo estudado baseado em uma análise sísmo-estratigráfica. Nesta etapa foram escolhidos dois refletores que representavam superfícies estratigráficas chaves e eram,

portanto potencialmente promissores em termos de preservação de feições geomorfológicas. A primeira destas foi uma superfície de máxima inundação (MFS 4 de Kulhmann, 2008) e a segunda um truncamento erosional (topo da unidade S6 de Kulhmann, 2008).

Uma vez selecionadas as superfícies, partiu-se então para o mapeamento das mesmas. Para tanto se utilizou de um procedimento (*volume track*) que realiza o mapeamento automático dos horizontes. No entanto, ao encontrar zonas de falha ou com presença de gás o sinal se perdia, deixando um vazio na superfície mapeada. Nestas situações, uma intervenção manual (*line manual*) se fazia necessária para corrigir esse problema, fato esse que ocorreu de forma muito comum na região leste da área investigada. Uma vez mapeada toda a superfície testou-se o uso de um filtro (*dip steered median filter*) que atenua o ruído e ressalta a continuação lateral das feições devido à substituição do valor central da amplitude de um *Dip Steered* círculo por um valor mediano entre todos os pontos pertencentes a esse círculo. Além disso, procurou-se caracterizar a variação espacial de algum atributo sísmico que pudesse ressaltar variações faciológicas ao longo destes horizontes. Nesse sentido, optou-se pela amplitude instantânea. Uma vez mapeada as superfícies e ressaltada as feições geomorfológicas nelas preservadas, partiu-se então para a interpretação das mesmas, baseados em conhecimento geológico geral e trabalhos desenvolvidos na região por autores diversos.

Os resultados e discussão estão apresentados no Capítulo II deste manuscrito, em forma de artigo científico, enviado para a revista *Marine Geology*.

## 1.6 REFERÊNCIAS

- Alfaro, E., & Holz, M., 2014.** Seismic geomorphological analysis of deepwater gravity-driven deposits on a slope system of the southern Colombian Caribbean margin. *Marine and Petroleum Geology*, 57, 294-311.
- Barboza, E. G., 2005.** Análise estratigráfica do Campo de Namorado (Bacia de Campos) com base na interpretação sísmica tridimensional. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 235p.
- Bates, C. C., 1953.** Rational theory of delta formation. *AAPG Bulletin*, 37(9), 2119-2162.
- Bijlsma, S., 1981.** Fluvial sedimentation from the Fennoscandian area into the Northwest European Basin during the Late Cenozoic. *Geol. Mijnb.*, 8 337-345.
- Brown Jr., L.F. & Fisher, W. L., 1997.** Seismic Stratigraphic Interpretation of depositional systems: examples from Brazilian rift and pull-apart basins. In: Payton, C. E., (ed): *Seismic Stratigraphy – Applications to Hydrocarbon Exploration*. Tulsa, AAPG Memoir, 26 p. 213-248.
- Carter, D. C., 2003.** 3-D seismic geomorphology: Insights into fluvial reservoir deposition and performance, Widuri field, Java Sea. *AAPG bulletin*, 87(6), 909-934.
- Deegan, C. E., and Scull, B. J., compilers, 1977.** A proposed standard lithostratigraphic nomenclature for the central and northern North Sea: Norwegian Petroleum Directorate Bulletin 1, Institute of Geological Sciences Report no. 77/25.
- Della Fávera, J.C., 2001.** Fundamentos de Estratigrafia Moderna. Uerj (Ed.), Rio de Janeiro, 263p.
- De Lugt, I.R., 2007.** Stratigraphical and structural setting of the Palaeogene siliciclastic sediments in the Dutch part of the North Sea Basin. Ph.D. thesis Universiteit Utrecht. 112p.
- Emery, D. & Myers, K. J., 1996.** Sequence Stratigraphy. Oxford, U.K. Blackweell, 297p.
- Evans, D., C. Graham, 2003.** The Millennium Atlas: Petroleum Geology of the Central and Northern North Sea. The Geological society of London.
- Faugères, J.C., Mezerai, M.L., Stow, D.A.V., 1993.** Contournite drifte types and their distribution in the North and South Atlantic Ocean basins. *Sedimentary Geology*, 82:189-203.
- Fisher, W.L., McGowen, J.H., 1967.** Depositional systems in the Wilcox Group of Texas and their relationship to occurrence of oil and gas. Geological Circular 67-4, Bureau of Economic Geology, The University of Texas at Austin.
- Funnell, B.M., 1996.** Plio-Pleistocene palaeogeography of the Southern North Sea Basin (3.75 – 0.60 Ma). *Quaternary Science Reviews* 15, 391-405.
- Garrido, G. C., dos Reis, A. T., & Gorini, C., 2011.** Geomorfologia Sísmica das Feições de Sub-Fundo Submarino da Margem Catalã, Mediterrâneo Ocidental. In 12th International Congress of the Brazilian Geophysical Society.
- Glennie, K.W., Underhill, J.R., 1998.** Origin, Development and Evolution of Structural Styles – Outline of the Structural Framework of the North Sea. Blackwell Publishing
-

- Goledowski, B., Nielsen, S.B. & Clausen, O.R., 2012.** Patterns of Cenozoic sediment flux from western Scandinavia. *Basin Research*, 24, 377-400pp.
- Haq, B.U., Hartdenbol, J., Vail, P.R. 1988.** Mezozoic and Cenozoic chonostratigraphy and cycles of sea level chance. In: *Sea level changes an integrated approach*. Wilgus, C.K., Poasamentier, H., Roos, C.A., Kendall, C., SEPM Spec. Publ., 42, 71-108.
- Hollister, C.D., McCave, I.N., 1984.** Sedimentation under deep-sea storms, *Nature*, 309:220-225.
- Huuse, M., 2000.** Late Cenozoic palaeogeography of the eastern North Sea Basin: climatic vs. tectonic forcing of basin margin uplift and deltaic progradation. *Bulletin of the Geological Society of Denmark* 49, 145–170.
- Huuse, M., Lykke-Andersen, H., Michelsen, O., 2001.** Cenozoic evolution of the eastern North Sea Basin – new evidence from high-resolution and conventional seismic data. *Marine Geology*, 177: 243-269.
- Jager, J. de, & Geluk, M.C. ,2007.** Petroleum Geology in: *Geology of the Netherlands*. Wong, Th.E., Batjes D.A.J. & Jager J.de. (eds). Royal Netherlands Academy of Arts and Sciences. 241-264pp.
- Keizer, J., Letsch, W.J., 1963.** Geology of the Tertiary of The Netherlands. *Verhandelingen Koninkelijk Nederlands Geologisch Mijnbouwkundig Genootschap* 21-2, 147-172.
- Kosmowska-Czeranowicz, B., 1988.** Geheimnisse und Schonheit des Bernsteins. In: Ganzelewski, M. and Slotta, R. (1996) *Bernstein; Traner der Gotter*. Katalog der usstellung Des Deutschen Bergbau- Museums, Bochum.
- Kuhlmann, G., 2006.** High resolution stratigraphy and paleoenvironmental changes in the southern North Sea during the Neogene – An integrated study of Late Cenozoic marine deposits from the northern part of the Dutch offshore area. Ph.D. thesis, Utrecht University, *Geologica Ultraiectina, Mededelingen van de Faculteit Aardwetenschappen* 245: 205 pp.
- Kuhlmann, G., Wong, T.E., 2008.** Pliocene palaeoenvironmental evolution as interpreted from 3D-seismic data in the southern North Sea, Dutch offshore sector. *Marine and Petroleum Geology* 25, 173-189.
- Leeder, I., 1999.** *Shelves – Sedimentology and Sedimentary Basins: From turbulence tectonics*. Blackwell Publishing, 445.
- Letsch, W.J., Sissingh, W., 1983.** Tertiary stratigraphy of the Netherlands. *Geologie en Mijnbouw* 62, 305-318.
- López, L. A. C., 2009.** Interpretação Sismoestratigráfica e Geomorfologia Sísmica do Cone de Rio Grande, Bacia de Pelotas – Dissertação de doutorado - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Lovell, J.P.B., Stow, D.A.V., 1981.** Identification of ancient sandy contornites. *Geology*, 9:347-349.
- Mitchum, R., Vail, P.R., Thompson, S., 1977.** Depositional Sequence as a basic unit for stratigraphic analysis. In: Payton, C. E., (ed): *Seismic Stratigraphy – Applications to Hydrocarbon Exploration*. Tulsa, AAPG Memoir, 26 p. 53-62.
- Mulder, T., & Syvitski, J. P., 1995.** Turbidity currents generated at river mouths during exceptional discharges to the world oceans. *The Journal of Geology*, 285-299.
-

- Mulder, T., Syvitski, J.P.M., Migeon, S., Faugères, J.C. & Savoyed, B., 2003.** Marine hyperpycnal flows: initiation, behavior and related deposits. A review. *Marine and Petroleum Geology*, 20: 861–882.
- Mutti, E., 1989.** Submarine sand mounds and their relations to turbidite systems reworked by bottom currents. *Notiziario, Gruppo Informale di Sedimentologia C.N.R., Suppl. Giorn. Geol.*, 51(4):55-59.
- Nichols, G., 2009.** *Sedimentology and stratigraphy*. John Wiley & Sons.
- Okman, C.D., Partington, M.A., 1998.** *Cretaceous – Petroleum Geology of the North Sea, Basic Concepts and Recent Advances*. Blackwell Science Ltd, 4th Edition, 294-349
- Overeem, I., Weltje, G. J., Bishop-Kay, C., Kroonenberg, S. B., 2001.** The late Cenozoic Eridanos delta system in the Southern North Sea Basin: A climate signal in sediment supply? *Basin Research* 13, 293-312.
- Payton, C.E., 1977.** *Seismic Stratigraphy: Applications to Hydrocarbon Exploration*. Memoir 26.
- Posamentier, H. W., 2000.** Seismic Stratigraphy into the next millennium: a focus on 3D seismic data. American Association of Petroleum Geologists Annual Conference, New Orleans, LA, 16-19 April, A118.
- Posamentier, H. W., Kolla, V., 2003.** Seismic geomorphology and stratigraphy of depositional elements in deep water settings. *Journal of Sedimentary Research*. 73. Pp. 367-388.
- Posamentier, H. W., Davies, R.J., Cartwright, J.A. & Wood, L., 2007.** Seismic geomorphology – An overview. In: *Seismic Geomorphology – Applications to hydrocarbon exploration and production*. Special Publication 277 Geological Society. Pp. 1-14.
- Rezende, W.M. & Ferradaes, J. C. 1971.** Integração Geológica Regional da bacia sedimentar da Foz do Amazonas. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 25, Belém, Anais, 3. 203-214.
- Ribeiro, H. J. P., 2001.** *Estratigrafia de Sequências. Fundamentos e Aplicações*. São Leopoldo, Editora: Unisinos; 427p.
- Schumm, S. A., 1977.** *The fluvial system*. Vol. 338. New York: Wiley. 388p.
- Sørensen, J.C., Gregersen, U, Breiner, M and Michelsen, O., 1997,** High frequency sequence stratigraphy of upper Cenozoic deposits. *Mar. Petrol. Geol.*, 14, 99–123.
- Souza Cruz, C.E., 1995.** *Estratigrafia e Sedimentação de águas profundas do Neogeno da Bacia de Campos, Estado do Rio de Janeiro*. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 186p.
- Steeghs, P., Overeem, I. and Tigrek, S. 2000.** Seismic volume attribute analysis of the Cenozoic succession in the L08 block (Southern North Sea): global and Planetary change, n°27 pp 1-4, 245-262.
- Stuart, J.Y. & Huuse, M., 2012.** 3D Seismic geomorphology of a large Plio-Pleistocene delta – “Bright Spots” and contourites in the Southern North Sea. In: *Marine and Petroleum Geology* 38, 143-157.
- Taner, M. T., Koehler, F. and Sheriff, R. E., 1979.** *Complex seismic trace analysis: Geophysics*, Vol 44, pp. 1041-1063.
-

- Vail, P. R., Mitchum, R. M., Thompson, M. S., 1977.** Seismic stratigraphy and global changes of sea level, part 3: relative changes of sea from coastal onlap. In: Payton, C. E., (ed): Seismic Stratigraphy – Applications to Hydrocarbon Exploration. Tulsa, AAPG Memoir, 26 p.63-81.
- Vail, P. R., Hardenbol, J. & Todd, R. G. 1984.** Jurassic unconformities, chronostratigraphy and sea level changes from seismic stratigraphy and biostratigraphy. In: Interregional Unconformities and Hydrocarbon Accumulation (Ed. Schlee, J.S.) Mem., Am. Assoc. Petrol. Geol. 36, 129-144.
- Vail, P.R., 1987.** Seismic Stratigraphy interpretation using sequence stratigraphy. Part 1: seismic stratigraphy interpretation procedure. In: BALLY, A. W. (Ed.). Atlas of Seismic Stratigraphy. Tulsa, AAPG, 1:1-9, (AAPG studies in Geology #27).
- Van Adrichem Boogaert, H.A., Kouwe, W.F.P. (Eds.), 1997.** Stratigraphic nomenclature of the Netherlands, revision and update by RGD and NOGPA. Medededingen Rijks Geologische Dienst 50. NITG-TNO, Haarlem, 1-39.
- Van Staalduinen, C.J., Van Adrichem Boogaert H.A., Bles, M.J.M., Doppert, J.W. Chr., Harsveldt, H.M., Van Montfrans H.M., Oele, E., Wermuth, R.A., Zagwijn, W.H., 1979.** The geology of the Netherlands. Mededelingen Rijks Geologische Dienst 31 (2), 11-49.
- Viana, A.R., Faugères, J.C., Stow, D.A.V., 1998.** Bottom-current-controlled sand deposits – a review of modern shallow to deep-water environments. Sedimentary Geology, 115:53-80.
- Vieira, R., Simões, J. C., & Araya-Vergara, J. F., 2010.** O Uso da Sísmica de Reflexão nos Estudos de Geomorfologia Submarina em Fiordes, Chile. Revista Brasileira de Geomorfologia, 5(1).
- Vinken, R. (Ed.), 1988.** The Northwest European Tertiary Basin. Geol. Jahrb. Reihe A 100, 508 pp.
- Walker, R.G.,1992.** Turbidite and submarine fans. Geological Assoc. of Canada. 1:239- 263.
- Wheatcroft, R.A., 2000.** Oceanic flood sedimentation: a new perspective. Continental Shelf Research, 20: 2059-2066
- Wilgus, C. K., Hastings, B. S., Kendall, C.G.St.C., Posamentier, H., Ross, C. A. & Van Wogoner, J. 1988** (eds). Sea level changes- an integrated approach. Soc. Econ. Paleontol. Mineral., Spec. Publ. 42, 407pp.
- Zagwijn, W.H., 1989.** The Netherlands during the Tertiary and the Quaternary: a case history of Coastal Lowland evolution. Geologie em Mijnbouw 68, 107-120.
- Ziegler, P.A. 1989.** Evolution of the North Atlantic – an overview; Extensional tectonics and stratigraphy of the North Atlantic margins. AAPG memoir 46
- Ziegler, O. A., 1990.** Geological Atlas of western and Central Europe. Shell Internationale Petroleum, Geo. Soc. London., Bath, Maatschappij B. V.. 239pp.



## **CAPÍTULO II**

### **RESULTADOS**

## **Seismic Geomorphology of two Pliocene surfaces from Eridanos Delta System (Dutch sector of North Sea).**

Preissler, A. G. and Paim, P. S. G

### **Abstract**

Depositional and erosional features along two specific surfaces within Pliocene strata of the Dutch sector of the North Sea were studied based on using seismic geomorphology and seismic stratigraphy concepts. This study consisted of the interpretation of a high quality 3D seismic cube (~ 400 km<sup>2</sup>) acquired in shallow water (~ 40 m), which covers the Eridanos fluvio-deltaic depositional system. The free software OpendTect was used to analyze two key stratigraphic surfaces. Some seismic attributes and filters were used to highlight palaeogeomorphological features on the selected horizon slices. The first one, a maximum flooding surface, shows a network of tributary channels incised onto the slope and merging into larger, probably hyperpycnal channels developed on the basin floor. Local evidence of contour currents was also identified. The second horizon, a subaerial unconformity, presents evidence of widespread action of contour currents and local action of turbidity currents partially reworking the contourites. The results enhanced the close relationship between extreme climate conditions (glacial and interglacial) and erosional / depositional geomorphological features (*e.g.* contour currents scours and depositional streaks, tributary drainage network and associated submarine channels, and turbidite channels and lobes).

**Key words:** 3D seismic, Seismic Geomorphology, North Sea, Pliocene.

## **Resumo**

Feições deposicionais e erosionais em duas superfícies específicas dentro do intervalo do Plioceno do setor holandês do Mar do Norte foram estudadas através da utilização da geomorfologia sísmica e dos conceitos da sismo-estratigrafia. Esse estudo consistiu da interpretação sísmica de um bloco 3D de alta qualidade, com aproximadamente 400 km<sup>2</sup> de área e adquirido em águas rasas (~ 40 m), o qual abrange os refletores pertencentes ao sistema flúvio-deltaico Eridanos. A aplicação dos filtros, o mapeamento dos atributos sísmicos ao longo dos horizontes sísmicos escolhidos e a interpretação das feições paleogeomorfológicas que se tornaram aparentes com tais procedimentos foram realizados com o uso do software livre OpendTect. O mapeamento do primeiro destes horizontes, uma superfície de máxima inundação, evidenciou a presença de uma rede de canais tributários desenvolvidos ao longo de uma paleotalude deposicional e que convergiam formando canais submarinos maiores interpretados como de natureza hiperpicnal. Evidências da ação de correntes de contorno também foram identificadas em uma região restrita da superfície mapeada. Por outro lado, a análise do segundo horizonte sísmico mapeada, uma discordância subaérea, permitiu identificar a ação das correntes de contorno agindo em quase toda a área de estudo, além de feições mais localizadas que indicam a ação de correntes de turbidez que remobilizavam os contornitos. Os resultados alcançados permitiram melhor vincular condições climáticas extremas (glacial e interglacial) com feições morfológicas erosionais / deposicionais (feições lineares erosivas e deposicionais vinculadas a correntes de contorno, rede de drenagem tributária e canais submarinos associados, e canais e lobos turbidíticos).

**Palavras-chave:** Sísmica 3D, Geomorfologia Sísmica, Mar do Norte, Plioceno.

## 1. Introduction

The emergence of three-dimensional (3D) seismic technology as a regional industry exploration tool in the 1990s has revolutionized seismic investigation, and has been mentioned as one of the most exciting developments in the Earth Sciences over the past century (Cartwright & Huuse 2005). The stratigraphic interpretation of high-quality 3D seismic data has significantly improved our ability to predict the subsurface. Fluvio-deltaic sedimentary systems are of great interest for explorationists because they comprise important hydrocarbon reservoirs. However, these systems are among the most complex and heterogeneous.

The F3 block in the northeastern part of the Dutch sector was acquired in 1987 to explore oil and gas in Upper Jurassic-Lower Cretaceous strata. However, this data is not available for free due the existence of a production well in the block. Just a few studies beyond exploration targets have been done and a second look at this 3D data set often reveals that seismic data contains information that is of interest to the study of earth system dynamics (Steeghs *et al.*, 2000).

The Cenozoic interval of the 3D seismic data from F3 block was analyzed using the OpendeTect 4.6.0 free software. The mapping of two seismic horizons, actually two key stratigraphic surfaces, brought into light their geomorphology. Some filters and seismic attributes were used to enhance subaerial to deep-water geomorphological features, such as channels, lobes and contour currents erosional and depositional forms. Mapped horizon slices were compared to Z slices to confirm the existence of some geomorphological features.

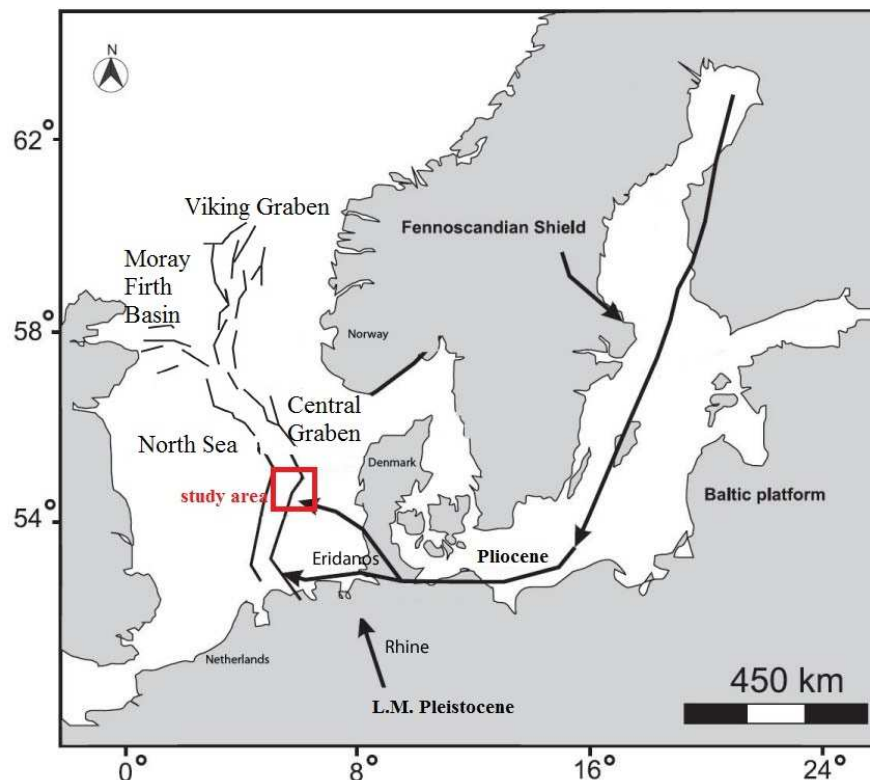
One of the main processes of sediment transfer from shallow- to deep-water is through mass and sediment gravity flows (Middleton & Hampton, 1976). In the case here studied, short and long-lived turbidity currents have played a major role. Contour currents have been another important mechanism of sediment remobilization in the study area, although entirely restricted to the deep water realm.

According to classical models, turbidity currents derive from slope failures. They include a waxing and a subsequent waning flow phase, when sedimentation actually takes place, and are also known as short-lived turbidity currents. On the other hand, hyperpycnal flows form whenever fluvial discharge is denser than the water density of the receiving basin. Usually, they form at a river mouth during floods of small to medium size rivers (Mutti *et al.* 2000). Therefore, they are more complex flows that usually include multiple waxing and waning phases and are also known as long-lived turbidity currents. At last, the contour currents are also density flows, but resulting from melt water, which flows from colder to warmer water along the deeper parts of the marine environment, and may rework sediments deposited by the above mentioned sediment gravity flows.

Most studies of submarine channels have focused on systems that initiate as erosional canyons either directly connected to a river system or not. In the marine geology community there is a tendency to focus on the arrangement of submarine distributary rather than tributary networks (Damuth *et al.*, 1983; Normark *et al.*, 1979). In this paper the geometry of a network of tributary channels developed on a deltaic slope, and feeding much larger submarine channels, is described besides other submarine geomorphological features ascribed to contour and turbidity currents.

## 2. Geological Setting

The study area is located in the Dutch sector of the North Sea, which has evolved from an Upper Jurassic failed rift (Leeder, 1999) developed during the North Atlantic opening (Okman & Partington, 1998). At this time, uplift due to a thermal dome has led to overspread erosion in the central area of the North Sea, volcanism and ensuing development of a triple junction (Glennie & Underhill, 1998). This regional tectonic feature (Figura 03) includes the Viking and Central grabens and the Moray Firth Basin (Glennie & Underhill, 1998). Subsequent collapse of the thermal dome, and associated thermal subsidence, added by a large sediment supply, has originated the Cenozoic North Sea Basin, a large intracratonic sag confined by land-masses and connected to the Norwegian-Greenland Sea to the north by a narrow seaway (Ziegler, 1990; Huuse, 2000).

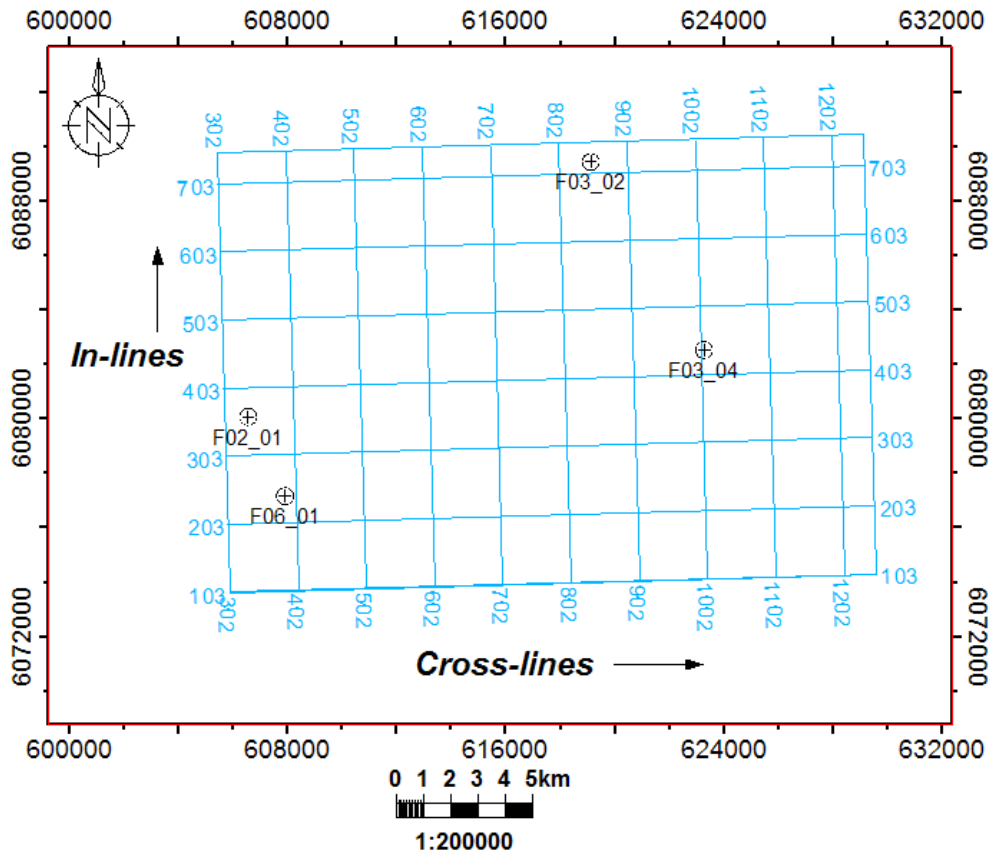


**Figure 1.** Location of the study area in the Dutch Sector of the North Sea (red square). Arrows indicates the sediment transport routes of the Eridanos fluvial-deltaic system during the Pliocene and Pleistocene. Modified from Funnell (1996).

The Plio-Pleistocene Eridanos delta was associated with the uplifting of the Fennoscandian Shield (Overeem, *et al.*, 2001). It initially prograded from north and east as well expressed by general fining to the west (Schroot *et al.*, 2005). Till Early Pliocene, the main feeder system was the Eridanos River, which was eroding the Fennoscandian Shield and transporting along the present-day Baltic Sea. Subsequent progradation from the southern Rhine delta (Funnell, 1996) during the lower and middle Pleistocene is recorded in the most recent deposits of the study area, which are beyond the scope this study. In the entire Southern North Sea Basin several phases of deposition show evidence of mass transport along the Eridanos delta system which have been assigned to the sea level falls in the Early and Late Pliocene (Overeem *et al.*, 2001).

### **3. Methods and database**

The seismic volume consists of 646 inlines and 947 crosslines equally spaced (25 m apart) acquired with a sample rate of 4 ms. The 3D block was obtained to explore oil and gas in Upper Jurassic-Lower Cretaceous strata, which are not available in the free data supplied by dGB Earth Sciences through OpendTect web site since 2006. However, the high-quality seismic data of the Miocene to Pleistocene strata is accessible and was used in this study together with four wells also made available by dGB Earth Sciences (Figure 2).



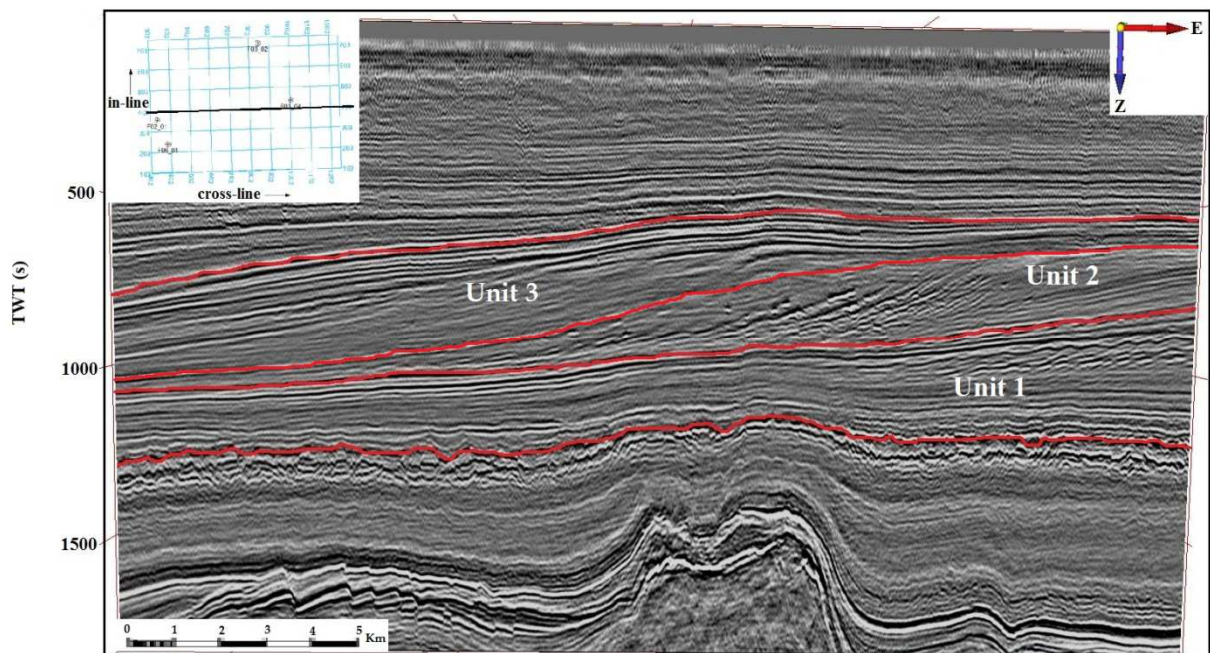
**Figure 2.** Base map of the seismic survey with location of the four wells used for calibrating the mapped surfaces. Image from Opendtect website.

The adopted workflow for seismic interpretation comprises the following steps: (1) loading the seismic cube in the OpendTect software; (2) sequence stratigraphic analysis of the seismic cube for predict potentially relevant surfaces; (3) seismic mapping of the chosen horizons along all the cube to reveal morphological features; (4) application of filter (dip-steering medium filter) to remove random noise and to enhance structural and depositional features; (5) application of a seismic attribute (instantaneous amplitude) to distinguish different contrasts of acoustic impedance and therefore to provide accurate and detailed information about lithological changes of the depositional elements relative to the surrounding strata; and (6) interpretation of the mapped erosional/depositional features based on their sequence stratigraphic setting, morphology and amplitude response.



#### 4. Results

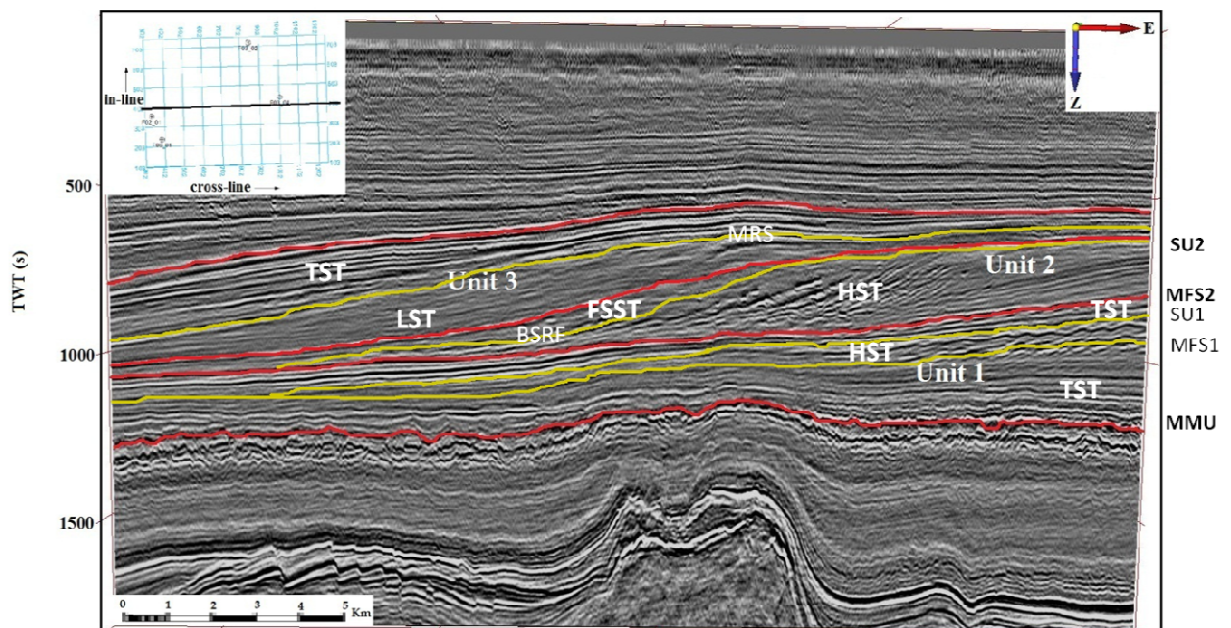
The Cenozoic succession includes two main intervals bounded by the Mid Miocene Unconformity (MMU). According to Tetyukhina (2010) during the Late Eocene and Oligocene the North Sea Basin was cut off from the Tethys Ocean by the uplift of the British Isles. This activity resulted in further regional uplift and a significant sea level fall that took place between 11 and 12 Ma, resulting in break on sedimentation (MMU). This unconformity bounds Serravalian strata (below) and Late Miocene transgressive, condensed deposits (Stuart & Ruuse, 2012) and constitutes a key seismic marker along the entire North Sea. The lower package consists of open marine, mainly fine-grained aggradational Paleogene deposits (Steeghs *et al.*, 2000). On the other hand, the upper Cenozoic interval is represented by the Plio-Pleistocene Eridanos delta system, the main target of this study. It occurs just above the Late Miocene condensed interval and appears in the seismic data as very well-developed clinoforms that represent a coarsening-upward succession. The Eridanos delta system in the southern North Sea was subdivided by Tetyukhina (2010) into three units (Figure 3) that correspond to different evolution phases and were here adopted. The upper Miocene Unit 1 rests on the condensed, Late Miocene transgressive strata and comprises the earliest delta deposits. It has been recognized in the entire southern North Sea embayment (Sørensen *et al.*, 1997). This unit onlaps the condensed interval in the eastern part of the area and it is supposed to have been fed from the east and deposited in shallow water. The Pliocene Unit 2 represents the second phase of delta evolution with the progradation towards the southwest characterized by steeper, sigmoidal clinoforms (Fig. 1). Lastly, the Pleistocene Unit 3 represents the latest phase of delta evolution with sedimentation then coming from the Rhine River. Clinoforms are gentler and onlap onto unit 2 upper boundary to the east.



**Figure 3.** Seismic section (Inline 500, position indicated in the insert) with the delimitation of the three phases of delta evolution according to Tetyukhina (2010).

#### 4.1. Sequence Stratigraphy

A sequence stratigraphic analysis was performed on a representative seismic line (inline 400) to subsidize the choice of the most appropriated stratigraphic surfaces where distinct geomorphological features could be expected (Figure 4). High-amplitude, faulted reflectors near the base of the seismic line represent the Cretaceous basement that is unconformably covered by the Cenozoic strata. The MMU bounds the aggradational, fine-grained marine deposits of the Paleogene from the aggradational to progradational to aggradational, Miocene to Pleistocene package, which includes the interval and surfaces herein discussed.

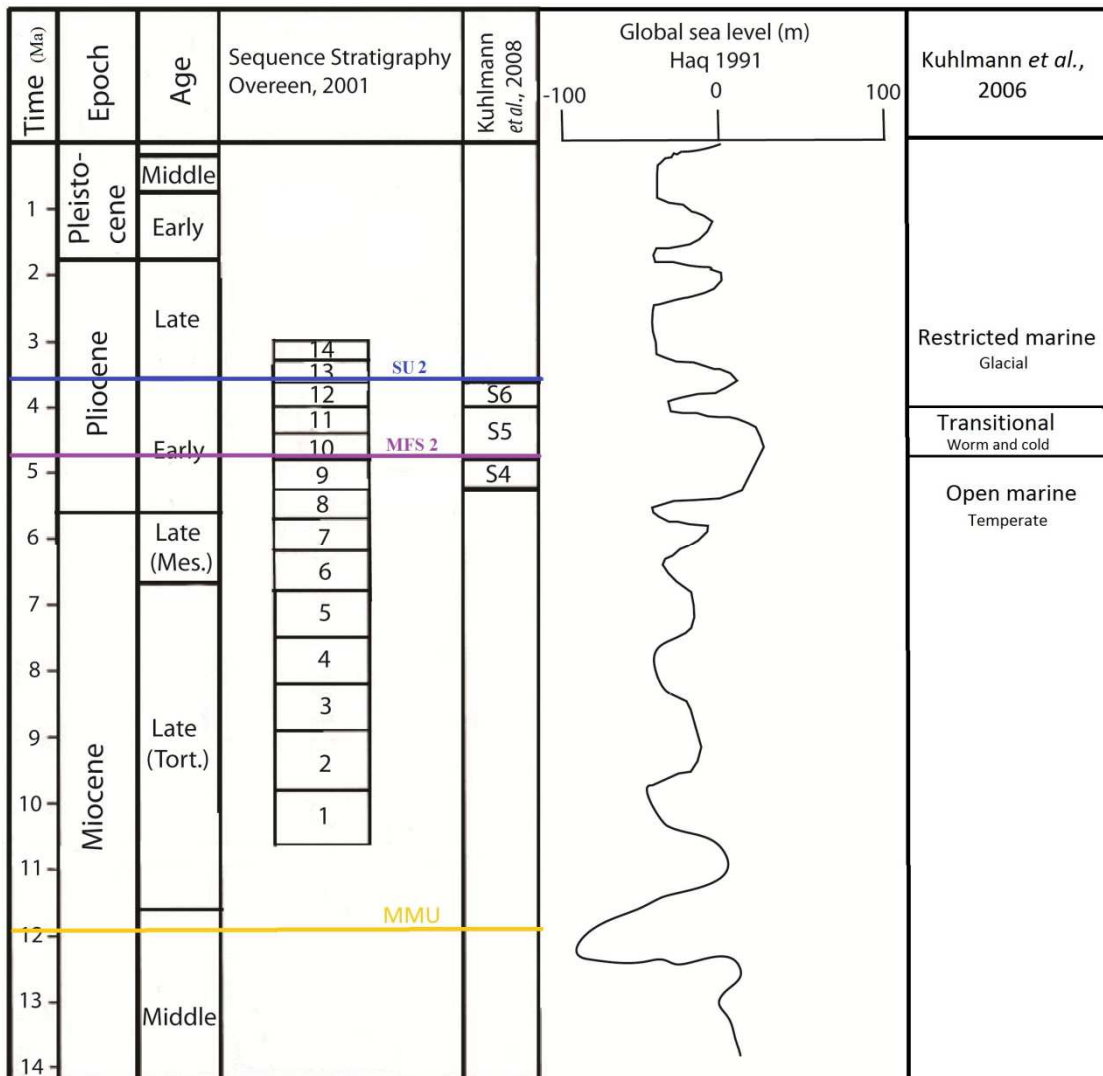


**Figure 4.** Interpreted seismic section (inline 500). Identified key stratigraphic surfaces are highlighted and indicated by following acronyms: TST = transgressive system tract, HST = highstand systems tract, MMU = Mid Miocene Unconformity, FSST = falling stage system tract, LST = Lower system tract, MFS = Maximum flooding surface, SU-CC = subaerial unconformity and correlative conformity, BSFR = basal surface of forced regression, MRS = maximum regressive surface.

The Eridanos delta system is represented by the dominantly progradational, sigmoidal reflectors that occurs above a maximum flooding surface (MFS1), which is located in the mid part of the unit 1 and ends below a maximum regressive surface (MRS) that is located in the mid portion of unit 3 (Fig. 4). Unit 2 is limited by both horizons here discussed. It is bounded by a higher frequency maximum flooding surface (MFS2) below and a subaerial unconformity and correlative conformity (SU-CC 2) on its top. Besides it includes an earlier highstand systems tract (HST) and a falling stage systems tract (FSST) bounded by a basal surface of forced regression (BSFR).

So, based on this sequence stratigraphic analysis, two key stratigraphic surfaces were chosen to perform a seismic geomorphology study. A first one corresponds to the MFS2, clearly defined in the seismic line and also indicated in the four wells. It encompasses since a deep-water, basin plain realm up to a delta slope. This surface is above a thin layer of fine-

grained, transgressive deposits that cover erosional / depositional features previously formed during the formation of the SU-CC 1. The second one is an erosional truncation surface and associated correlative conformity (SU-CC 2) that is supposed to represent a maximum lowering of the relative sea-level during a glacial peak. Therefore it represents the base of a lowstand system tract (LST / LSW) that rests on it. The studied interval corresponds to the seismic units 10 to 12 of Overeem (2001) and S5 and S6 of Kuhlmann *et al* (2008) and matches a cycle of global sea-level rise and fall (Figure 5).



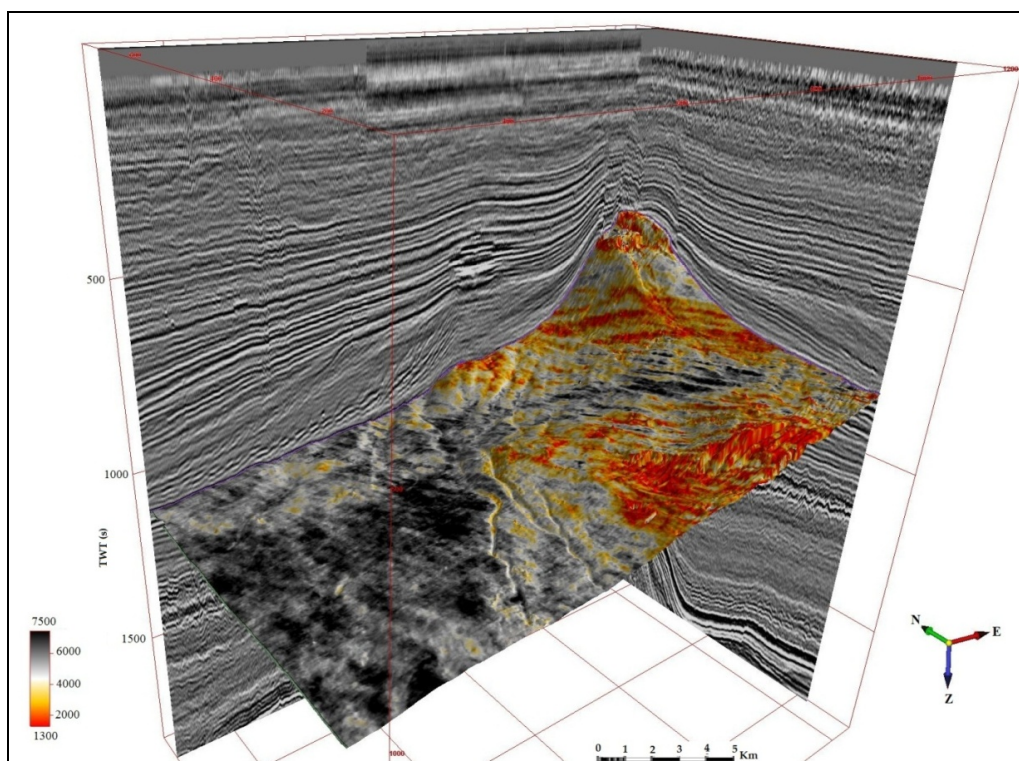
**Figure**

**5.** Summary of key observations used in this paper based on several authors indicated in the upper cell of each column. The lower and upper bounding surfaces of Unit 2, which are the subject of this paper, are indicated (MFS2 and SU-CC 2) and limit a general cycle of sea-level rise and fall.

## 4.2. Seismic Geomorphology

### 4.2.1. Maximum flooding surface 2

The MFS 2 was formed during an early Pliocene interval of sea-level rise (Fig. 5). As can be seen in the horizon slice presented in figure 6, it encompasses basin plain to delta slope settings. The main geomorphological feature found on this surface is a network of smaller tributary channels developed on the lower part of the delta slope. These channels merge into each other to form slightly irregular, major channels that cross along the basin plain. Tributary channels are parallel to the fluvial input whereas the basin plain main channels present a slightly oblique trend relative to fluvial input. Tributary channels display higher reflection amplitude relative to the main, basin plain channels suggesting a higher sand content in the slope channels. The tributary channels network is highlighted in the draft presented in figure 7 that was based on the analysis of the horizon slice presented in figure 6.

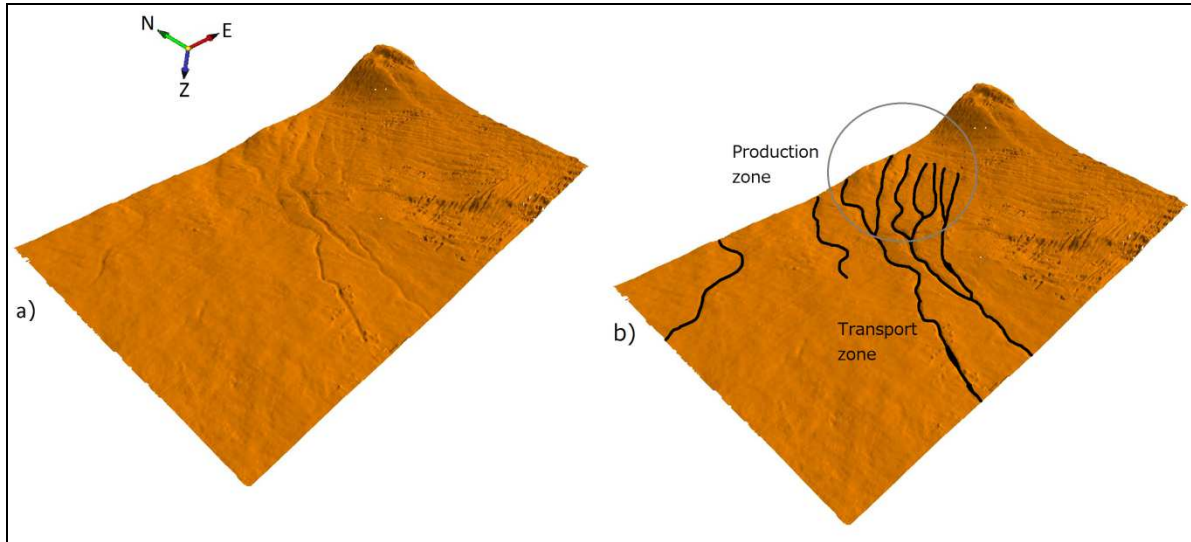


**Figure 6.** Seismic geomorphology associated with the MFS 2 amplitude map.

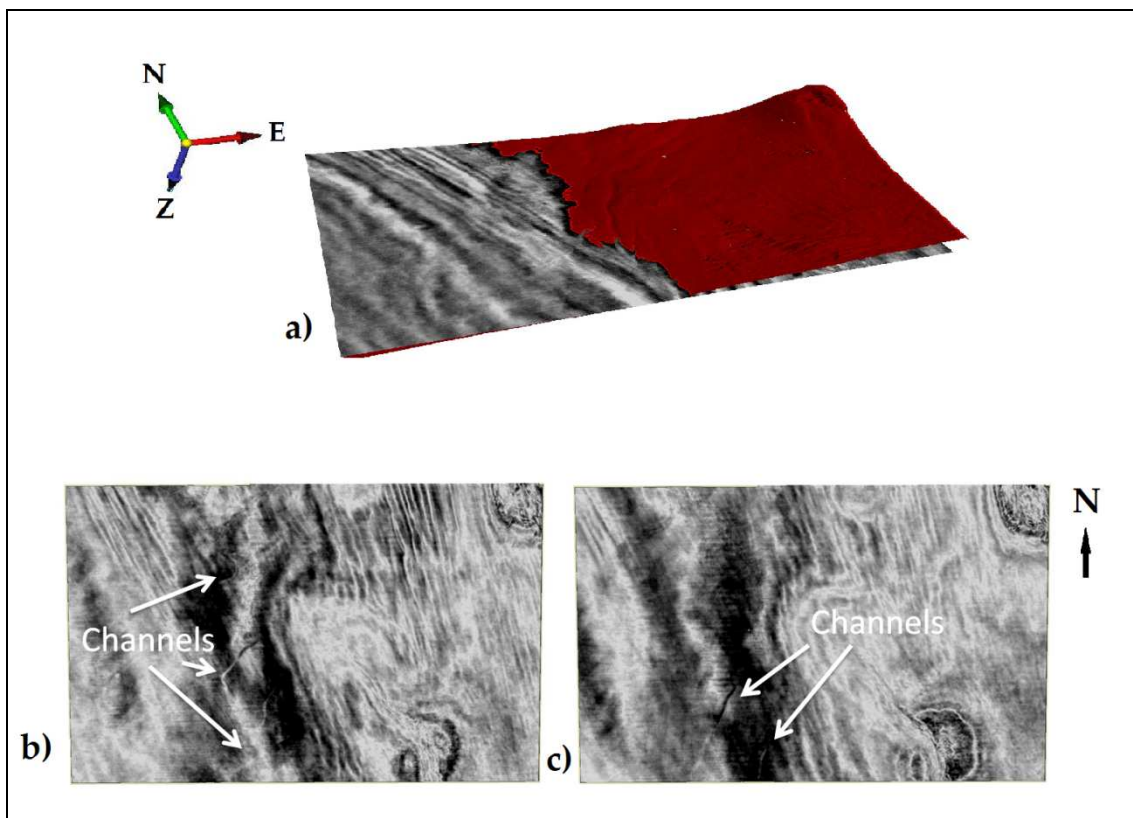
However, tributary channels ascribed to the subaerial erosion into the base of slope were not supposed to develop during a maximum flooding surface. Actually they should be related to a major relative sea-level drop. In this way, this tributary channels network was interpreted as a relict feature draped by fine-grained transgressive deposits and associated with the previous subaerial unconformity (tributary channels) and correlative conformity (basin plain submarine channels) named SU-CC 1 in figure 4. This figure shows that the irregular morphology ascribed to the subaerial unconformity goes down just to the base of the delta slope, in a similar way the tributary channels do on the MFS 2 (Figs. 6 and 7).

Therefore, the tributary channels network that is so well-delineated on this surface is a result of an incision that took place before the deposition of the maximum flooding surface, during the formation of the SU-CC 1. It is still visible because the channels are not fully filled with sediment, being covered by a drape of mud. Using Z slices is possible to confirm (Figure 8) this hypothesis as it is possible to see the same channels at different Z slices.

Based on the above mentioned reasoning, the larger submarine channels were related to hyperpycnal currents derived from the tributary channels during an earlier relative sea-level drop. Whereas the direction of the tributary channels was controlled by the delta slope, the submarine channels orientation was controlled by the basin plain gradient, which was oblique to the fluvial input.



**Figure 7.** a) MFS 2 including tributary channels along the slope merging into each other and forming the plain basin submarine channels. b) Interpretation of the drainage using Schumm (1977) concepts of fluvial systems.



**Figure 8.** a) interception of the MFS 2 with the 1020 ms Z slice; b) detail of the 1020 ms (TWT) Z slice near the interception with the MFS 2 surface. Note that the channel forms occur in both slices and are quite clear, c) detail of the 1044 ms (TWT) Z slice: note that the same channels morphology previously mentioned is still visible.

Another geomorphological feature found on the MFS 2 are NNW/SSE trending, linear incisions transverse to the delta slope. Amplitude map (Fig. 6) shows similar orientation suggesting a similar trend of sand transport. These features are restricted to the base of slope, well-developed in the SSE portion and partially rework the tributary channels on the NNW sector. The MFS 2 was formed during an interval assigned to the first cold inception related to the onset of northern hemisphere glaciation (Kuhlmann et al 2008). Therefore, in this climate context, and taking into account that these linear features are restricted to the lower part of the delta slope, are orientated transverse to the delta slope dip, and display similar trend of sand dispersal, it seems logical to ascribe them to the action of contour currents, as already reported in the literature to explain very similar features (e.g. Cartwright, 1995; Stuart and Huuse, 2012).

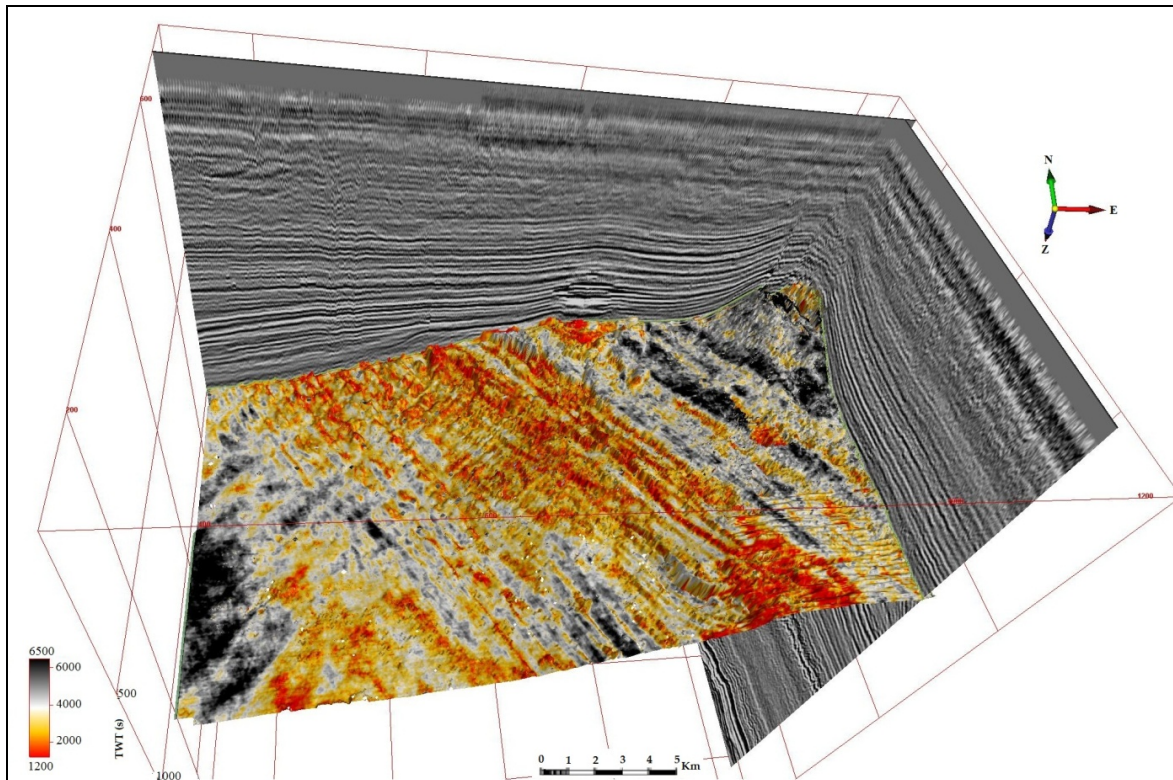
#### **4.2.2. Subaerial unconformity and correlative conformity 2**

The SU-CC 2 was formed during a late Pliocene global sea level drop under a glacial climate (Fig. 5). Two main morphological and sand dispersal features are apparent in the horizon slice that represents the SU-CC 2 (Figure 9). A first one is similar, but much more widespread than those described for the MFS2. It is related to linear, transverse to the delta slope scours that occur along the entire delta slope, but not in the basin plain. Potential sand accumulation related to this feature, as deduced from the amplitude map, follows the same trend. Likewise, these features were interpreted as the result of the action of contour currents, but more extensively as a result of a colder climate.

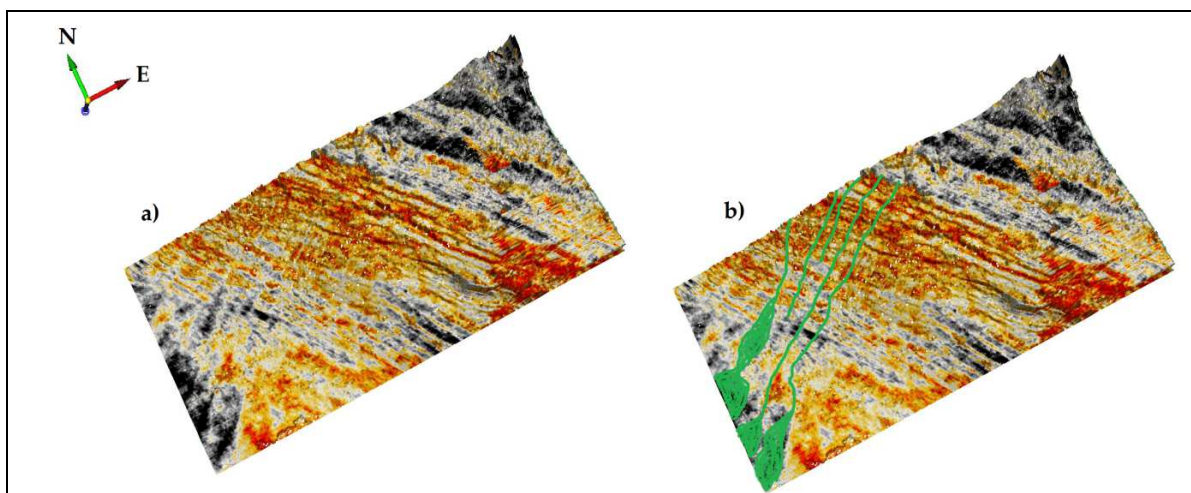
A second major geomorphological feature found on this surface is related to narrower linear features, which are parallel to the delta slope and seem to cross cut the contourites. Linear sand patches deduced from the amplitude map are visible and grade downslope to



elongate, fan shaped sand accumulation that implies on a gradual spreading. These linear to fan shaped sand deposits were ascribed to turbidite channels and lobes related to the sea level drop and delta slope incision (Fig.10).



**Figure 9.** Seismic geomorphology and amplitude map of the SU-CC2 horizon slice. Note widespread occurrence of linear, transverse to delta slope (contourites) and linear to fan shaped, parallel to delta slope (turbidite channels and lobes) features.



**Figure 10.** a) Detail of the amplitude map of the SU-CC 2; b) interpretation of (a) highlighting linear to elongate lobe shapes ascribed to turbidite channels and lobes.

## **5. Conclusions**

A seismic geomorphology approach has succeeded to disclose important 3D geological features otherwise imperceptible. Such approach is important not just in terms of geological interpretation, but also as an exploration tool. However, this method must be preceded of a reliable sequence stratigraphy analysis to find the more appropriated surfaces to be mapped.

The key stratigraphic surfaces that were mapped have shown some important geomorphological features, such as (1) the important role of bottom currents (contour currents) scouring and depositing sand as narrow stripes along the lower delta slope in both mapped surfaces, but mainly during the colder conditions with better defined incisions and ridges; (2) the existence of subaerial tributary fluvial channels network sculpted on the lower delta slope expressed on the MFS2. Tributary channels merge into each other as they approach the basin plain and feed larger submarine channels that cross along the basin floor. All this features were related to an earlier (SU-CC 1) subaerial unconformity (tributary channels network) and correlative conformity (submarine channels); (3) the presence of narrow and linear turbidity channels feeding elongate, fan-shaped sand deposits above the SU-CC 2; (4) it is possible to noted an significant elevation caused by salt tectonic events in the NE portion of both surfaces.

As a general conclusion, it is important to state the predominance of gravity flows, either as short or long-lived turbidity currents, associated with the scour of the delta slope during relative sea level drops (SU-CC 1 and 2) and the important role of the contour currents, mostly during colder phases.

## 6. References

**Cartwright, J., 1995.** Seismic-Stratigraphical Analysis of Large-Scale Ridge–Trough Sedimentary Structures in the Late Miocene to Early Pliocene of the Central North Sea. *Sedimentary Facies Analysis: a tribute to the research and teaching of Harold G. Reading*, 283-303.

**Cartwright, J. & Huuse, M., 2005.** 3D seismic technology: the geological Hubble. *Basin Res.*, 17, 1-20.

**Damuth, J. E., Kolla, V., Flood, R. D., Kowsmann, R. O., Monteiro, M. C., Gorini, M. A., & Belderson, R. H. 1983.** Distributary channel meandering and bifurcation patterns on the Amazon deep-sea fan as revealed by long-range side-scan sonar (GLORIA). *Geology*, 11(2), 94-98.

**Funnell, B.M., 1996.** Plio-Pleistocene palaeogeography of the Southern North Sea Basin (3.75 – 0.60 Ma). *Quaternary Science Reviews* 15, 391-405.

**Glennie, K.W., Underhill, J.R., 1998;** Origin, Development and Evolution of Structural Styles – Outline of the Structural Framework of the North Sea. Blackwell Publishing.

**Haq, B.U., Hartdenbol, J., Vail, P.R. 1988.** Mesozoic and Cenozoic chonostratigraphy and cycles of sea level change. In: *Sea level changes an integrated approach*. Wilgus, C.K., Poasamentier, H., Roos, C.A., Kendall, C., SEPM Spec. Publ., 42, 71-108.

**Haq, B.U., 1991.** Sequence stratigraphy, sea-level change, and significance for the deep sea. In: *Sedimentation, Tectonics and Eustasy; Sea-Level Changes at Active Margins* (Ed. By D.I.M. Macdonald), Spec. Publ. Int. Ass. Sedimentol., 12.

**Huuse, M., 2000.** Late Cenozoic palaeogeography of the eastern North Sea Basin: climatic vs. tectonic forcing of basin margin uplift and deltaic progradation. *Bulletin of the Geological Society of Denmark* 49, 145–170.

**Kuhlmann, G., Langereis, C.G., Munsterman, D., van Leeuwen, R.-J., Verreussel, R., Meulenkamp, J., Wong, Th.E., 2006.** Chronostratigraphy of Late Neogene sediments in the southern North Sea Basin and paleoenvironmental interpretations. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 239, 426–455.

**Kuhlmann, G., Wong, T.E., 2008.** Pliocene palaeoenvironmental evolution as interpreted from 3D-seismic data in the southern North Sea, Dutch offshore sector. *Marine and Petroleum Geology* 25, 173-189.

**Leeder, I., 1999.** Shelves – Sedimentology and Sedimentary Basins: From turbulence tectonics. Blackwell Publishing, 445.

**Middleton, G. V., & Hampton, M., 1976.** Subaqueous sediment transport and deposition by sediment gravity waves.

**Mulder, T., Syvitski, J.P.M., Migeon, S., Faugères, J.C. & Savoyed, B., 2003.** Marine hyperpycnal flows: initiation, behavior and related deposits. A review. *Marine and Petroleum Geology*, 20: 861–882.

**Mutti, E., Tinterri, R., di Biase, D., Fava, L., Mavilla, N. Angella, S., Calabrese, L. 2000.** Delta-front facies associations of ancient flood-dominated fluvio-deltaic systems. *Rev. Soc. Geol. España*, 13(2): 1675-190.

**Normark, W.R., Piper, D.J.W. and Hess, G.R., 1979.** Distributary channels, sand lobes, and mesotopography of Navy submarine fan, California Borderland, with applications to ancient fan sediments. *Sedimentology*, 26: 749-774.

**Okman, C.D., Partington, M.A., 1998.** *Cretaceous – Petroleum Geology of the North Sea, Basic Concepts and Recent Advances*. Blackwell Science Ltd, 4th Edition, 294-349

**Overeem, I., Weltje, G.J., Bishop-Kay, C., Kroonenberg, S.B., 2001.** The Late Cenozoic Eridanos delta system in the Southern North Sea Basin: a climate signal in sediment supply? *Basin Research* 13, 293–312.

**Posamentier, H.W., Walker, R.G., 2006.** *Facies models revisited*. Society for sedimentary geology.

**Schroot, B.M. and Schüttenhelm, R.T.E., 2003.** Expressions of shallow as in the Netherlands North Sea. *Netherlands Journal of Geoscience/Geologie en Mijnbouw*, 82 (1): 91-105.

**Schroot, B. M., Klaver, G. T., and Schuttenhelm, R. T. E., 2005.** Surface and subsurface expressions of gas seepage to the seabed examples from the southern north sea. *Marine and Petroleum Geology*, 22(4):499–515.

**Schumm, S. A. ,1977.** *The fluvial system*. Vol. 338. New York: Wiley. 388p.

**Sørensen, J. C., Gregersen, U., Breiner, M., and Michelsen, O., 1997.** High-frequency sequence stratigraphy of upper cenozoic deposits in the central and southeastern north sea areas. *Marine and Petroleum Geology*, 14(2):99–123.

**Steeghs, P., Overeem, I., and Tigrek, S., 2000.** Seismic volume attribute analysis of the cenozoic succession in the 108 block (Southern North sea). *Global and Planetary Change*, 27:245–262.

**Straub, Kyle M.; Mohrig, David; Pirmez, Carlos, 2011.** Architecture of an aggradational tributary submarine channel network on the continental slope offshore Brunei Darussalam. *Application of the Principles of Seismic Geomorphology to Continental-Slope and Base-of-Slope Systems: Case Studies from Seafloor and Near-Seafloor Analogues*, SEPM, Special Publication, v. 99, p. 13-30.

**Stow, D. A., Howell, D. G., & Nelson, C. H., 1985.** Sedimentary, tectonic, and sea-level controls. In *Submarine fans and related turbidite systems*. pp. 15-22. Springer New York.

**Stuart, J.Y. & Huuse, M., 2012.** 3D Seismic geomorphology of a large Plio-Pleistocene delta – “Bright Spots” and contourites in the Southern North Sea. In: *Marine and Petroleum Geology* 38, 143-157.

**Stuart, J.Y. & Huuse, M., 2012.** 3D Seismic geomorphology of a large Plio-Pleistocene delta – “Bright Spots” and contourites in the Southern North Sea. In: *Marine and Petroleum Geology* 38, 143-157.

**Tetyklina, D., 2010.** High-resolution reservoir characterization by seismic inversion with geological constraints. Phd Thesis at Research Center Delft Earth and Statoil. 189p.

**Ziegler, P., 1990.** *Geological atlas of Western and Central Europe*. Shell Internationale Petroleum Maatschappij B.V, Geological Society of London, Elsevier, Amsterdam, 2nd edition.

**ANEXO**

**COMPROVANTES DE SUBMISSÃO DO TRABALHO**



**IX SIMPÓSIO SUL-BRASILEIRO DE GEOLOGIA  
II WORKSHOP DE RECURSOS MINERAIS DA REGIÃO SUL  
FLORIANÓPOLIS, SANTA CATARINA 2015**

**GEOMORFOLOGIA SÍSMICA DO SISTEMA DELTAICO  
ERIDANOS – PLIO-PLESTOCENO DO SETOR HOLANDÊS DO MAR  
DO NORTE.**

ADRIANE GOMES PREISSLER<sup>1</sup>, PAULO SERGIO GOMES PAIM<sup>1</sup>

1- Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), Programa de Pós-Graduação em Geologia, São Leopoldo, [adriane.geologa@gmail.com](mailto:adriane.geologa@gmail.com)

Feições deposicionais e erosionais em duas superfícies específicas dentro do intervalo do Plio-Pleistoceno do setor holandês do Mar do Norte foram estudadas através da utilização da geomorfologia sísmica e dos conceitos da sismo-estratigrafia. Esse estudo consiste na interpretação sísmica de um bloco 3D de alta qualidade com aproximadamente 400 km<sup>2</sup> em águas relativamente rasas, em torno de 40 m e abrange os refletores pertencentes ao período de evolução do sistema flúvio-deltaico Eridanos. Para a visualização e aplicação dos filtros e atributos sísmicos foi utilizado o software livre OpendTect, que permitiu a criação da paleogeomorfologia dos refletores desejados. A geomorfologia sísmica da superfície que corresponde a uma máxima inundação evidenciou a presença de uma rede de canais, formada provavelmente por fluxos hiperpicnais alimentados por canais tributários oriundos do deságue do rio que fluía onde hoje é o mar báltico para dentro do mar. Evidências da ação de correntes de contorno também são identificadas. Na geomorfologia sísmica da superfície que corresponde a uma discordância subaérea é possível identificar a ação das correntes de contorno agindo em quase toda a área de estudo, além de correntes de turbidez que aparentemente ocorrem remobilizando estas. Os resultados alcançados nesse trabalho permitem uma melhor interpretação das condições as quais o ambiente esteve exposto, principalmente, é possível identificar mudanças no padrão da sedimentação variando com o clima.

**Palavras-chave:** sísmica 3D, geomorfologia sísmica, Mar do Norte.

13/02/2015

Gmail - Acknowledgement of receipt of your submitted article



adriane gomes <adriane.geologa@gmail.com>

---

### Acknowledgement of receipt of your submitted article

---

**Marine Geology** <margo-ee@elsevier.com>  
Para: adriane.geologa@gmail.com

13 de fevereiro de 2015 18:04

Dear Ms. Preissler,

Your submission entitled "Seismic Geomorphology of two Pliocene surfaces from Eridanos Delta System (Dutch sector of North Sea)." has been received by Marine Geology.

Your paper will be considered as belonging to the category Research Paper. Please contact us if this is not correct.

Please note that submission of an article is understood to imply that the article is original and is not being considered for publication elsewhere. Submission also implies that all authors have approved the paper for release and are in agreement with its content.

Your manuscript will be given a reference number in due course.

Thank you for submitting your work to this journal.

Kind regards,

Editorial Office  
Marine Geology