

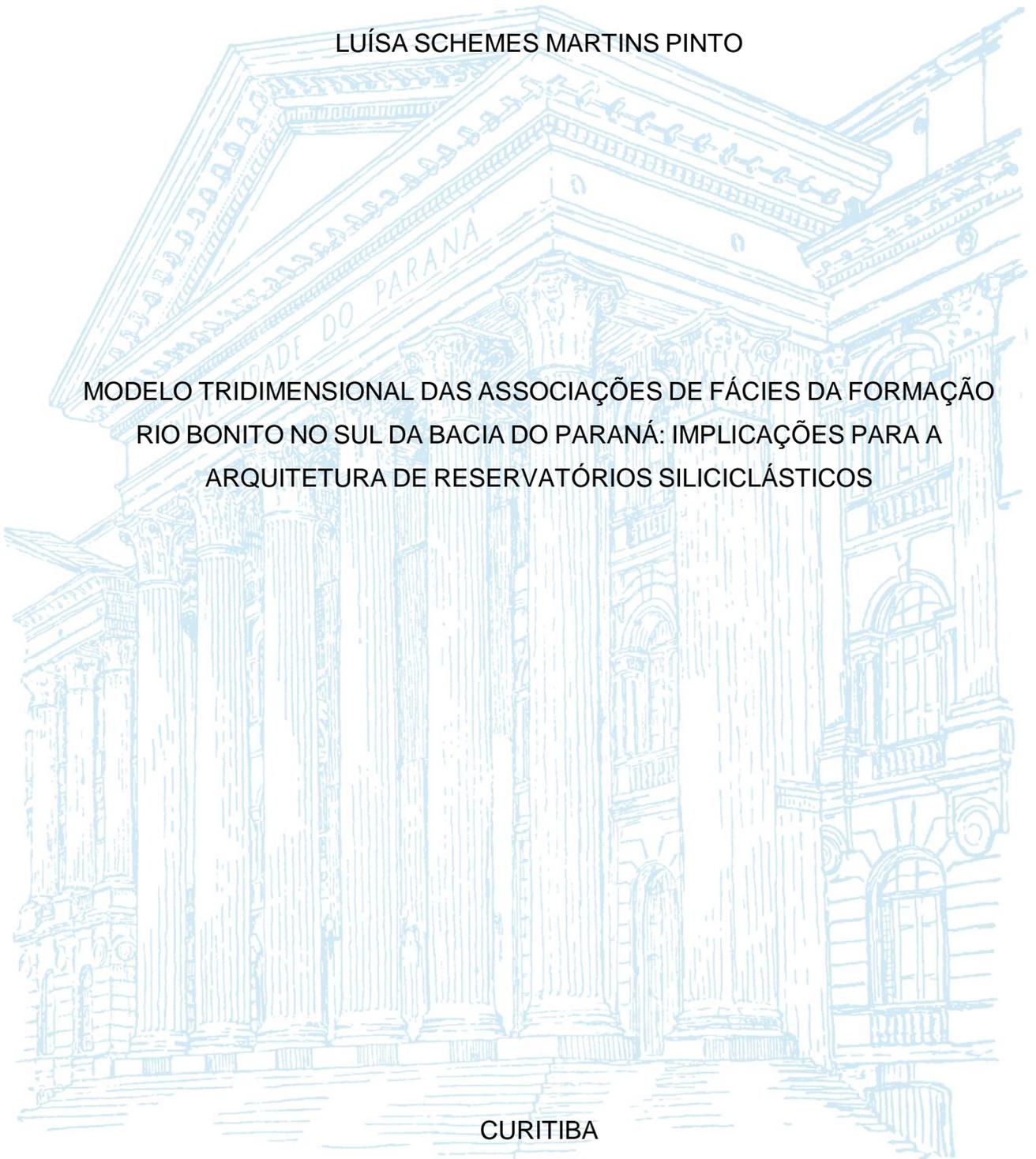
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS DA TERRA
CURSO DE GEOLOGIA

LUÍSA SCHEMES MARTINS PINTO

MODELO TRIDIMENSIONAL DAS ASSOCIAÇÕES DE FÁCIES DA FORMAÇÃO
RIO BONITO NO SUL DA BACIA DO PARANÁ: IMPLICAÇÕES PARA A
ARQUITETURA DE RESERVATÓRIOS SILICICLÁSTICOS

CURITIBA

2023



LUÍSA SCHEMES MARTINS PINTO

MODELO TRIDIMENSIONAL DAS ASSOCIAÇÕES DE FÁCIES DA FORMAÇÃO RIO
BONITO NO SUL DA BACIA DO PARANÁ: IMPLICAÇÕES PARA A ARQUITETURA DE
RESERVATÓRIOS SILICICLÁSTICOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Geologia da Universidade Federal do
Paraná como requisito parcial à obtenção do grau
de Bacharel em Geologia.

Orientador(a): Prof. Dr. Fernando Farias Vesely

CURITIBA

2023

Este trabalho é dedicado a meus queridos pais e irmã e à Sandriane, que me deram todo o apoio, amor e carinho.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Dr. Fernando Farias Vesely, pela valiosa orientação, dedicação, paciência e disponibilidade sempre que o procurei, não somente na realização deste trabalho, mas também ao longo da minha graduação.

À Universidade Federal do Paraná, que me proporcionou a oportunidade de cursar Geologia.

Ao Departamento de Geologia e ao Laboratório de Análise de Bacias (LABAP), por disponibilizarem toda a estrutura necessária para a execução deste trabalho.

À *Petroleum Experts*, pela liberação da licença acadêmica do *software* MOVE, que foi empregado neste trabalho.

À minha maravilhosa firma, Daniele e Gabriel, e às minhas queridas amigas Andressa, Juliana e Yasmin, por todas as aventuras, companheirismo, apoio e carinho.

À minha amada amiga de mais longa data, Julia, pela compreensão, amizade e carinho todos estes anos.

Aos amigos e amigas do curso de Geologia, PET e Panega Jr. por todos os momentos, sejam de descontração ou de trabalho.

À turma do GRR2017 da qual tenho a honra de fazer parte. Obrigada por sempre me fazerem sentir acolhida.

Às minhas primas Amanda e Dudinha e à minha tia Susana, que mesmo longe, sempre dão um jeito de se fazerem presentes.

Obrigada.

RESUMO

A Formação Rio Bonito é uma unidade geológica importante na Bacia do Paraná, devido à presença de camadas de carvão e conhecida condição de seus depósitos siliciclásticos costeiros a marinhos rasos como bons análogos de reservatório de hidrocarbonetos. Trabalhos recentes na porção gaúcha da Formação Rio Bonito enfatizam a ocorrência de carvão e o estudo de análogos de reservatórios, partindo dos métodos da estratigrafia de sequências. Assim, o objetivo deste trabalho é a construção de um modelo 3D da Formação Rio Bonito na porção leste do município de Cachoeira do Sul (RS) para auxiliar interpretações de estratigrafia de sequências e arquitetura de reservatórios. Como base de dados para este trabalho foram utilizados 15 perfis descritivos de sondagens realizadas pela CPRM no projeto Iruí-Butiá. A análise inicial dos perfis resultou na identificação de 20 fácies sedimentares, incluindo conglomerados, arenitos, heterolitos, siltitos, lamitos e carvão. As fácies foram agrupadas em associações de fácies e ambientes deposicionais, indicando a ocorrência de ambientes aluviais, transicionais e marinhos. Com as associações de fácies, foi construído um modelo tridimensional, o qual ajudou, juntamente com as curvas de raios gama, a interpretar 6 intervalos transgressivos/regressivos, e para dois deles, foram interpretados dois tratos de sistemas, o Trato de Sistemas de Mar Alto (HST) e o Trato de Sistemas Transgressivo (TST). Finalmente, foi feita a classificação das associações de fácies em unidades reservatório e não reservatório com base na análise de fácies e modelo tridimensional. A associação de fácies de *shoreface* é a unidade reservatório mais importante, com as melhores condições em termos de litologia, conectividade, geometria e continuidade lateral. Das associações de fácies indicadas como não reservatório, a associação de planície de maré é a mais importante em função de ter a maior continuidade lateral, formando uma grande barreira de fluxo e isolando o reservatório de *shoreface*. A modelagem tridimensional foi fundamental na análise estratigráfica e de reservatórios, permitindo a visualização e avaliação de critérios importantes, como sucessão vertical, geometria, continuidade e conectividade das associações de fácies. Diante da proposta do estudo, este trabalho contribuiu para um entendimento inicial da Formação Rio Bonito em termos de estratigrafia e potencial de reservatórios na área de estudo, bem como para a recuperação dados valiosos de pesquisa levantados pela CPRM, que são relevantes para estudos de análogos de reservatórios e para possíveis novas atividades de prospecção e avaliação de potenciais reservatórios na formação.

Palavras chave: Formação Rio Bonito, Análogos de reservatório, Modelagem 3D Estratigrafia de sequências.

ABSTRACT

The Rio Bonito Formation is an important geological unit in the Paraná Basin, due to the presence of coal beds and the known condition of its coastal to shallow marine siliciclastic deposits as good hydrocarbon reservoir analogs. Recent work in the Rio Bonito Formation emphasizes the occurrence of coal and the study of reservoir analogues using sequence stratigraphy methods. Thus, the objective of this work is the construction of a 3D model of the Rio Bonito Formation in the eastern portion of the Cachoeira do Sul (RS) municipality to aid in the interpretation of sequence stratigraphy and reservoir architecture. As a database for this work, 15 descriptive profiles from boreholes performed by CPRM in the Iruí-Butiá project were used. The initial analysis of the profiles resulted in the identification of 20 sedimentary facies, including conglomerates, sandstones, heteroliths, siltstones, mudstones, and coal. The facies were grouped into facies associations and depositional environments, indicating the occurrence of alluvial, transitional, and marine environments. With the facies associations, a three-dimensional model was built, which helped, along with the gamma ray curves, to interpret 6 transgressive/regressive intervals, and for two of them, two system tracts were interpreted, the High Sea System Tract (HST) and the Transgressive System Tract (TST). Finally, classification of facies associations into reservoir and non-reservoir units was performed based on facies analysis and three-dimensional model. The shoreface facies association is the most important reservoir unit, with the best conditions in terms of lithology, connectivity, geometry and lateral continuity. Of the facies associations indicated as non-reservoir, the tidal plain association is the most important as it has the greatest lateral continuity, dividing the interval and isolating the shoreface reservoir. Three-dimensional modeling was fundamental in stratigraphic and reservoir analysis, allowing the visualization and evaluation of important criteria, such as vertical succession, geometry, continuity and connectivity of the facies associations. In view of the study proposal, this work contributed to an initial understanding of the Rio Bonito Formation in terms of stratigraphy and reservoir potential in the study area, as well as to the recovery of valuable research data surveyed by CPRM, which are relevant for reservoir analog studies and for possible new prospecting and evaluation activities of potential reservoirs in the formation.

Keywords: Rio Bonito Formation, Reservoir analogues, 3D modeling Sequence stratigraphy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Esquema demonstrando as diferentes trajetórias da linha de costa. A) Representação dos ambientes deposicionais; B) Transgressão, originando um padrão de empilhamento retrogradacional; e C) regressão, gerando um padrão de empilhamento progradacional. Traduzido de Catuneanu (2006).	4
Figura 2: Fluxograma simplificado das etapas de trabalho.	7
Figura 3: Figura de localização da área de estudo e poços utilizados.	8
Figura 4: Recorte ilustrativo das tabelas de dados a serem importados para o MOVE. A) Tabela de coordenadas e profundidades totais. B) Tabela de associações de fácies e profundidade de topo.	10
Figura 5: Projeção dos furos e horizontes de associações de fácies no MOVE.....	10
Figura 6: Visão em mapa dos poços e seções projetadas no <i>software</i> MOVE.	11
Figura 7: Seção de correlação com horizontes traçados no <i>software</i> MOVE.....	11
Figura 8: Superfícies das associações de fácies gerados no <i>software</i> MOVE.....	12
Figura 9: Visualização das associações aluviais sobre o embasamento no <i>software</i> MOVE.	21
Figura 10: Visualizações do modelo 3D completo no <i>software</i> MOVE. A) Visualização em planta. B) Visualização E-W. C) Visualização N-S. D) Visualização geral.	21
Figura 11: Visualização das associações transicionais no <i>software</i> MOVE.....	22
Figura 12: Visualização das associações marinhas no <i>software</i> MOVE.	22
Figura 13: Coluna estratigráfica e perfil de raios gama representativos da sucessão de fácies da área, indicando os intervalos transgressivos e regressivos 1 a 6 identificados (elaborado a partir do perfil descritivo do furo IB-170-RS).....	24
Figura 14: Visualizações da associação de fácies de <i>shoreface</i> no <i>software</i> MOVE A) Visualização em Planta. B) Visualização geral.	26
Figura 15: Visualizações da associação de fácies de <i>washover</i> no <i>software</i> MOVE. A) Visualização em Planta. B) Visualização geral.	27
Figura 16: Visualizações da associação de fácies de barreira litorânea no <i>software</i> MOVE. A) Visualização em Planta. B) Visualização geral.	27

Figura 17: Visualizações da associação de fácies de canais de maré no <i>software</i> MOVE. A) Visualização em Planta. B) Visualização geral.	28
Figura 18: Visualizações da associação de fácies de estuário central no <i>software</i> MOVE. A) Visualização em Planta. B) Visualização geral	29
Figura 19: Visualizações da associação de fácies de planície de maré no <i>software</i> MOVE. A) Visualização em Planta. B) Visualização geral.	29
Figura 20: Visualizações da associação de fácies de leques aluviais no <i>software</i> MOVE. A) Visualização em Planta. B) Visualização geral	30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Superfícies chave da Estratigrafia de Sequências. Catuneanu (2006).	5
Tabela 2: Fácies sedimentares com código, descrição, estruturas, outros atributos, processos deposicionais interpretados e perfis de ocorrência.	14
Tabela 3: Ambientes deposicionais, associações de fácies e fácies constituintes.	17

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO TEÓRICA.....	2
2.1. FORMAÇÃO RIO BONITO.....	2
2.2. ESTRATIGRAFIA DE SEQUÊNCIAS.....	3
2.3.1. Conceitos gerais.....	3
2.3.1.1. Nível de base e trajetórias de linha de costa.....	3
2.3.1.2. Sequência, tratos de sistemas e superfícies-chave.....	4
2.3. USO DE PERFIS GEOFÍSICOS NA ANÁLISE ESTRATIGRÁFICA.....	6
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	7
3.1. DADOS UTILIZADOS.....	7
3.2. ANÁLISE DE FÁCIES.....	8
3.3. MODELO TRIDIMENSIONAL.....	9
3.4. ANÁLISE ESTRATIGRÁFICA E DE RESERVATÓRIOS.....	12
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	13
4.1. ANÁLISE DE FÁCIES.....	13
4.1.1 Fácies.....	13
4.1.2.1. Ambiente Aluvial.....	17
4.1.2.2. Ambiente Transicional.....	18
4.1.2.3. Ambiente Marinho.....	20
4.2. MODELO TRIDIMENSIONAL E ANÁLISE ESTRATIGRÁFICA.....	20
4.3. CONSIDERAÇÕES SOBRE POTENCIAL DE RESERVATÓRIOS.....	25
4.3.1. Unidades reservatório.....	25
4.3.2. Unidades não-reservatório.....	28
5. CONCLUSÕES.....	30
REFERÊNCIAS.....	32
APÊNDICE 1 - PERFIS DESCRITIVOS PROJETO IRUÍ-BUTIÁ.....	36

1. INTRODUÇÃO

A Formação Rio Bonito, do Permiano Inferior da Bacia do Paraná é uma importante unidade devido a ocorrência de camadas de carvão e a conhecida condição de seus depósitos siliciclásticos costeiros a marinhos rasos como bons análogos de reservatório de hidrocarbonetos (Küchle e Holz 2002, Maahs 2017, Maahs et al. 2019). Além disso, a unidade contém indícios de óleo em poços perfurados no norte de Santa Catarina (Milani e Catto 1998, Assis et al. 2020).

Neste contexto, têm sido realizados trabalhos na porção gaúcha da Formação Rio Bonito com enfoque nas ocorrências de carvão e estudos de análogos de reservatório, partindo dos métodos de estratigrafia de sequências (Alves e Ade 1996, Küchle e Holz 2002, Kern 2008, Casagrande 2010, Maahs 2017). Neste tipo de trabalho, ainda mais em se tratando de depósitos costeiros e marinhos rasos, a estratigrafia de sequências entra como uma ferramenta de fundamental importância na compreensão e interpretação dos processos e ambientes de sedimentação, correlação estratigráfica e para a geração de modelos evolutivos, podendo ter um caráter até mesmo preditivo (Küchle e Holz 2002, Catuneanu 2006), que é de grande relevância para a avaliação seja qualitativa ou quantitativa de reservatórios e identificação de ocorrências tanto de óleo como de carvão.

Ao longo da década de 70 e início da década de 80, a Formação Rio Bonito foi alvo de diversas campanhas de sondagem promovidas pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) visando avaliar as reservas de carvão. Dentre essas campanhas, foi realizado o projeto Iruí-Butiá, nos municípios de Butiá e Cachoeira do Sul, no Rio Grande do Sul, onde foram feitas centenas de furos, testemunhados e perfilados com geofísica. A realização deste projeto gerou uma grande quantidade de dados sobre o intervalo da Formação Rio Bonito na região, que atualmente se encontram disponíveis *online* na Biblioteca Virtual do Portal da CPRM, em forma de arquivo .pdf, resultado da escanerização dos documentos antigos gerados nos anos 70 e 80.

Assim, o objetivo deste trabalho é a construção de um modelo 3D da Formação Rio Bonito na porção leste do município de Cachoeira do Sul (RS) para auxiliar interpretações de estratigrafia de sequências e arquitetura de reservatórios.

Espera-se também contribuir com o aproveitamento e restauração de importantes dados antigos de pesquisa gerados pela CPRM na Formação Rio Bonito, com seu tratamento, digitalização e espacialização.

2. REVISÃO TEÓRICA

2.1. FORMAÇÃO RIO BONITO

A Formação Rio Bonito (White 1908) constitui a porção basal do Grupo Guatá, no intervalo Permiano Inferior (Asseliano) (Griffis et al. 2018) da Bacia do Paraná, sobreposta ao Grupo Itararé e sotoposta à Formação Palermo (topo do Grupo Guatá). Se estende desde o estado de São Paulo até o Rio Grande do Sul (Schneider et al. 1974, Holz et al. 2010) e é composta por conglomerados, arenitos, pelitos e camadas de carvão, depositados em ambientes costeiros flúvio-deltaicos até marinhos rasos. As principais estruturas sedimentares encontradas são estratificações plano-paralela, cruzada tabular e acanalada, estratificação cruzada *hummocky*, heterolitos *flaser* e *wavy* e a presença de *drapes* de argila (Holz et al. 2010).

Schneider et al. (1974) propõem a divisão formal da Formação Rio Bonito na borda leste da Bacia do Paraná em três membros: (1) Triunfo – membro basal, composto por arenitos finos a médios com estratificação cruzada, com ocorrência de siltitos, argilitos e leitos de carvão; (2) Paraguaçu – membro intermediário, composto principalmente por siltitos e folhelhos, com ocorrência de arenitos finos e camadas carbonáticas; e (3) Siderópolis – membro de topo, consiste em arenitos finos com estratificação cruzada, intercalados a argilitos, folhelhos e leitos de carvão. Esta divisão é aplicável nos estados do Paraná e Santa Catarina, porém, no estado do Rio Grande do Sul a Formação é indivisa (Holz et al. 2010). Os ambientes deposicionais costeiros descritos no Rio Grande do Sul são em geral caracterizados não como deltaicos, mas como lagunares-estuarinos (Holz 2003, Reis et al 2007, Holz 2010, Maahs 2017, Maahs et al. 2019) que dão origem a depósitos de carvão com grande continuidade lateral.

São conhecidas ocorrências de óleo em reservatórios da Formação Rio Bonito a partir de poços perfurados no norte de Santa Catarina. Esses indícios estão associados ao sistema petrolífero Irati - Rio Bonito, em que as rochas geradoras são folhelhos da Formação Irati e o mecanismo de geração está associado ao

aquecimento promovido por intrusões de rochas básicas durante o Mesozoico (Milani e Catto 1998, Assis et al. 2020). Muito embora estas ocorrências não tenham repercutido em acumulações econômicas na época de sua constatação, elas indicam a Formação Rio Bonito como importante alvo, agora que a atividade exploratória na Bacia do Paraná foi retomada. Além disso, a unidade tem potencial para estudos de análogos de reservatórios de outras bacias de contexto deposicional similar.

2.2. ESTRATIGRAFIA DE SEQUÊNCIAS

2.3.1. Conceitos gerais

De forma geral, a estratigrafia de sequências consiste na análise da resposta sedimentar às alterações do nível de base. O método parte da observação de padrões de empilhamento de fácies, tendências deposicionais e da identificação de ciclicidade, e correlações temporais e genéticas no registro estratigráfico (Catuneanu 2006). Isso permite a delimitação de pacotes rochosos cronocorrelatos e a verificação de sua distribuição espacial e de tendências deposicionais cíclicas, dando à estratigrafia de sequências um caráter preditivo (Catuneanu 2006).

2.3.1.1. Nível de base e trajetórias de linha de costa

Diferentes padrões de empilhamento e tendências deposicionais são consequência da interação entre nível de base e sedimentação (Catuneanu et al 2009, Catuneanu 2006). O nível de base é definido como uma superfície dinâmica acima da qual prevalece a erosão e abaixo da qual prevalece a deposição. Em geral, para ambientes deposicionais marinhos e costeiros, ele é tomado como o nível relativo do mar (Catuneanu 2006). Variações do nível de base e sedimentação são controladas por uma série de fatores como: tectônica, clima, variações do nível do mar global (eustático) e energia de fluxo. Esses fatores fazem com que o espaço de acomodação (espaço disponível para a acumulação de sedimentos) seja gerado ou consumido, o que define diferentes trajetórias da linha de costa e, portanto, diferentes tendências deposicionais (Catuneanu et al 2009, Catuneanu 2006).

Uma trajetória de linha de costa transgressiva define uma movimentação em direção ao continente, decorrente da subida do nível relativo do mar em taxa maior do que o consumo do espaço de acomodação (Catuneanu 2006). Isso produz uma

tendência deposicional retrogradacional, na qual há um padrão de empilhamento de fácies mais distais sobre as mais proximais (Figura 1 B) (Catuneanu 2006).

Já uma trajetória de linha de costa regressiva define uma movimentação em direção ao mar (depocentro da bacia). A regressão pode ser caracterizada como normal, quando o nível relativo do mar é estável e o espaço de acomodação é consumido pelo aporte sedimentar, ou forçada, quando efetivamente há o rebaixamento do nível relativo do mar, diminuindo o espaço de acomodação disponível (Catuneanu 2006). As regressões produzem uma tendência deposicional progradacional, na qual há um padrão de empilhamento de fácies mais proximais sobre as distais (Figura 1C) (Catuneanu 2006).

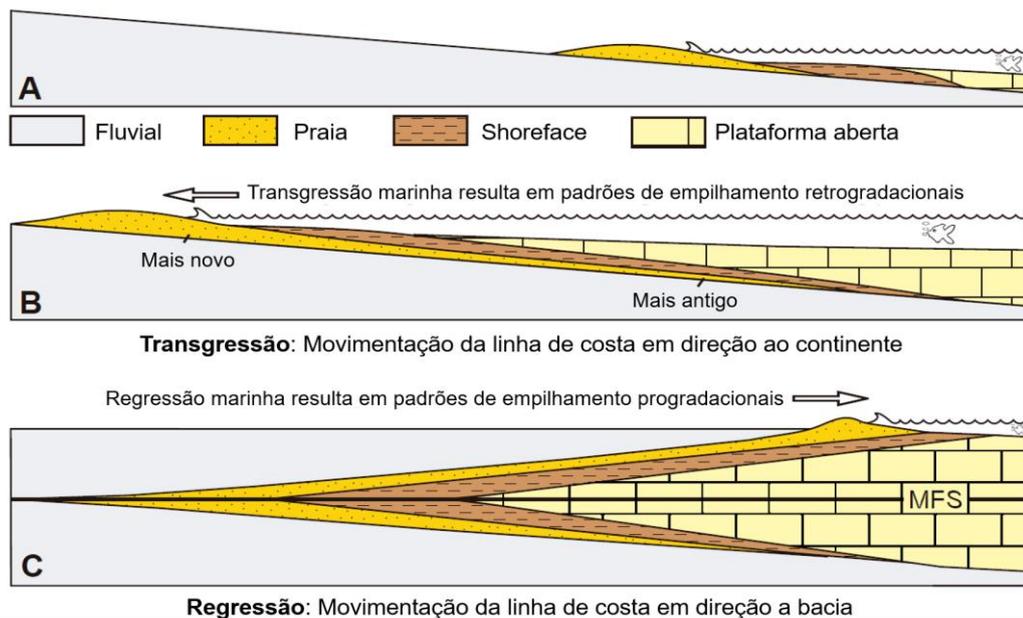


Figura 1: Esquema demonstrando as diferentes trajetórias da linha de costa. A) Representação dos ambientes deposicionais; B) Transgressão, originando um padrão de empilhamento retrogradacional; e C) regressão, gerando um padrão de empilhamento progradacional. Traduzido de Catuneanu (2006).

Quando a geração e consumo de espaço de acomodação estão em equilíbrio, não há movimentação da linha de costa. Isso gera um padrão de empilhamento agradacional, no qual a sucessão de fácies se mantém constante (Catuneanu 2006).

2.3.1.2. Sequência, tratos de sistemas e superfícies-chave

A sequência é a principal unidade da estratigrafia de sequências e corresponde a um ciclo completo de subida e queda do nível de base (Catuneanu et al. 2009). Uma sequência pode ser subdividida em tratos de sistemas, que são sucessões diretamente associadas a determinada trajetória de linha de costa, (Catuneanu et al.

2009). Tanto as sequências como os tratos de sistemas são limitados por superfícies chave (Tabela 1). Superfícies-chave, na estratigrafia de sequências, são superfícies estratigráficas que marcam mudanças relevantes de tendências deposicionais e padrões de empilhamento (Catuneanu 2006, Catuneanu et al. 2009, Magalhães et al. 2020).

Tabela 1: Superfícies chave da Estratigrafia de Sequências. Catuneanu (2006).

Superfícies-chave	Descrição
Discordância subaérea	Superfície de erosão ou não deposição que representa um hiato no registro sedimentar. Formada por erosão fluvial ou eólica durante uma regressão.
Conformidade correlata	Superfície correlata a discordância subaérea mar adentro, que não sofreu erosão durante uma regressão.
Superfície basal de regressão forçada	Superfície que marca o início e a base dos depósitos marinhos gerados na regressão forçada.
Superfície de regressão máxima	Superfície que marca a mudança de uma tendência regressiva para uma transgressiva
Superfície de inundação máxima	Superfície que marca a mudança de uma tendência transgressiva para uma regressiva
Superfície de ravinamento	Superfície de erosão provocada por ondas ou marés durante a transgressão
Superfície regressiva de erosão marinha	Superfície de erosão provocada por ondas ou marés durante a regressão (em geral forçada).

Os tratos de sistemas, conforme Catuneanu (2006), são os seguintes:

- Trato de Sistemas de Mar Alto (*Highstand Systems Tract – HST*): limitado na base pela superfície de inundação máxima e no topo pela discordância subaérea, sua conformidade correlata e parte da superfície regressiva de erosão marinha. É formado nos estágios finais do aumento do nível de base, compreendendo sedimentos depositados em uma regressão normal, com tendências progracionais e agradacionais.
- Trato de Sistemas de Regressão Forçada (*Falling-Stage Systems Tract – FSST*): é limitado na base pela superfície basal da regressão forçada e no topo

pela discordância subaérea, sua conformidade correlata e pela superfície regressiva de erosão marinha. Compreende os sedimentos depositados durante o período de regressão forçada.

- Trato de Sistemas de Mar Baixo (*Lowstand Systems Tract* – LST): é limitado na base pela discordância subaérea e sua conformidade correlata e no topo pela superfície de regressão máxima. Compreende depósitos formados durante a regressão forçada e regressão normal em nível de mar baixo, com progradação ou agradação no topo do trato.
- Trato de Sistemas Transgressivo (*Transgressive Systems Tract* – TST): limitado na base pela superfície de regressão máxima e no topo pela superfície de inundação máxima. Representa sedimentos depositados em um intervalo transgressivo, de tendência retrogradacional.

2.3. USO DE PERFIS GEOFÍSICOS NA ANÁLISE ESTRATIGRÁFICA

Os perfis geofísicos expressam um registro detalhado das propriedades geofísicas ao longo do perfil do poço e podem ser utilizados para auxiliar na interpretação de características como litologia, porosidade, saturação e na identificação de padrões e definição de limites para correlação estratigráfica, que são informações fundamentais para a análise de fácies, padrões de empilhamento e caracterização de reservatórios (Catuneanu 2006).

Os principais métodos geofísicos empregados na perfilagem são: potencial espontâneo, resistividade, raios gama, sônico, neutrônico, densidade, *dipmeter* e *caliper*. Dentre estes, o potencial espontâneo e os raios gama são os métodos mais utilizados para a interpretação de litologias, padrões e para correlação de poços. Em ambos, é possível verificar variações de “argilosidade” e em sua análise é empregada a identificação de alguns padrões comuns que podem ser observados para a interpretação de possíveis tendências deposicionais, como os padrões cilíndrico, funil, sino ou irregular (Catuneanu 2006).

Uma das vantagens dos perfis geofísicos é que eles podem fornecer informação contínua ao longo de cada furo, e as curvas permitem trabalhar a correlação estratigráfica tanto em escala de detalhe como regionalmente. Ainda

assim, é necessário destacar que a informação geofísica é um dado indireto e pode apresentar ambiguidade e incertezas. Portanto, o recomendado é que a perfilagem seja uma ferramenta auxiliar, utilizada de forma combinada com outros tipos de dado geofísico e dados diretos de testemunhos e afloramentos (Catuneanu 2006).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A execução deste trabalho passou por diversas etapas que vão desde a análise e tratamento inicial dos dados base, até a construção final de um modelo tridimensional e sua interpretação estratigráfica e de potencial de reservatórios. As etapas de trabalho seguiram conforme o fluxograma apresentado na Figura 2 e estão detalhadas nos tópicos a seguir.

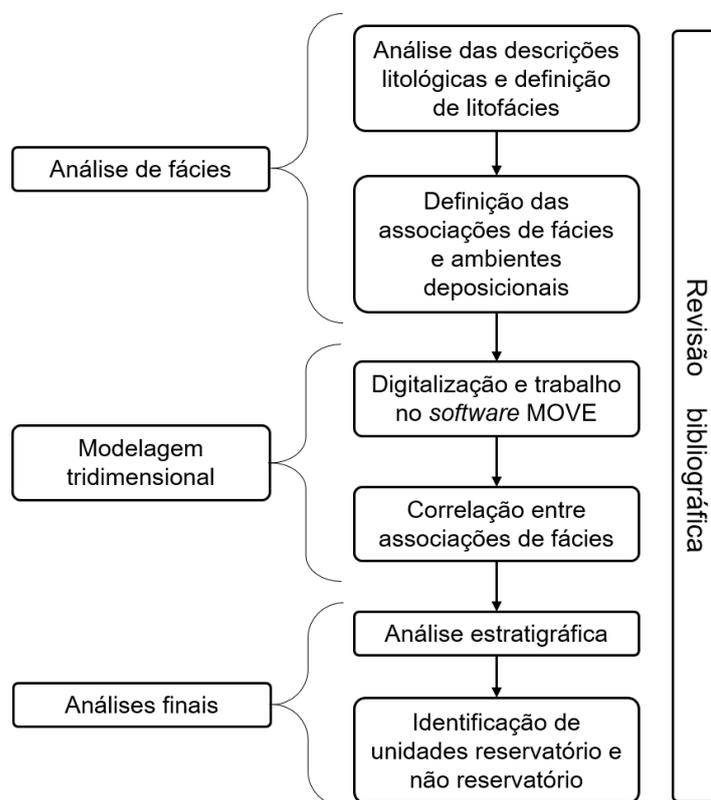


Figura 2: Fluxograma simplificado das etapas de trabalho.

3.1. DADOS UTILIZADOS

O trabalho é baseado em 15 perfis descritivos de poços (Apêndice 1) que são parte do projeto Iruí-Butiá, da CPRM (1983), perfurados entre os anos de 1977 e 1983. Os perfis estão em formato .pdf e estão disponibilizados de forma *online* e para download na biblioteca virtual do Portal da CPRM. Cada perfil conta com uma descrição de testemunho e perfil litológico nas escalas 1:500 e 1:100, detalhamento

das camadas de carvão em escala 1:20 e perfis geofísicos de raios-gama, potencial espontâneo e resistividade. Os furos estão localizados na porção leste do município de Cachoeira do Sul, próximo à divisa com Rio Pardo, no estado do Rio Grande do Sul, cobrindo uma área de aproximadamente 30 km² (Figura 3).

A área foi escolhida considerando a densidade, distribuição espacial e espaçamento dos furos, visando facilitar a geração de seções para a correlação lateral dos perfis. Os poços foram selecionados para que todos tivessem a testemunhagem completa da Formação Rio Bonito, atingindo o embasamento e possuíssem a perfilagem geofísica de raios-gama.

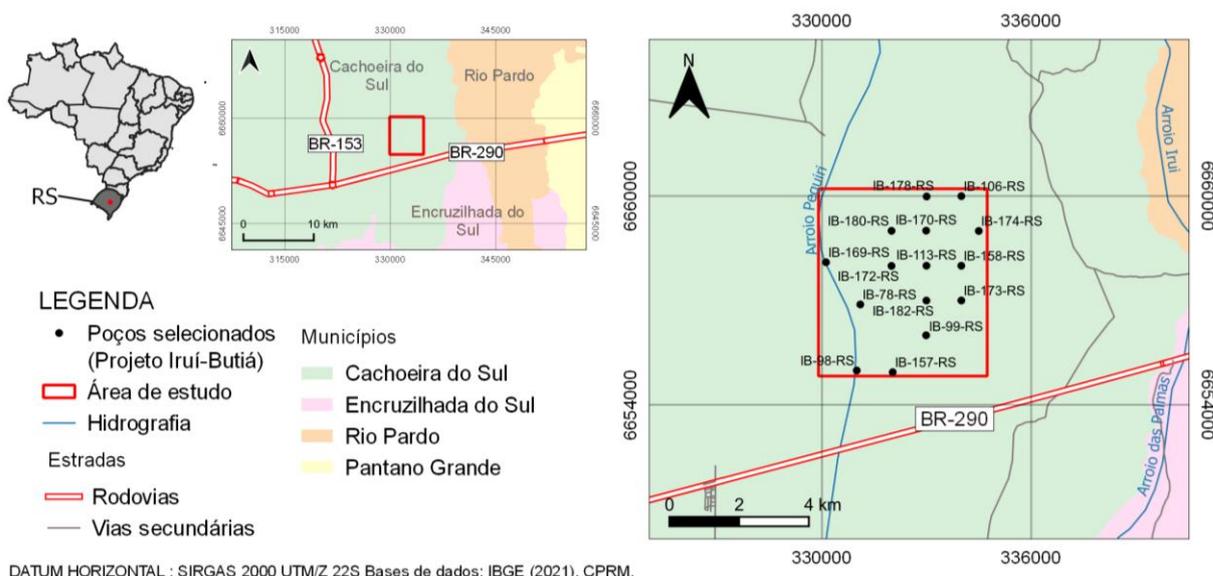


Figura 3: Figura de localização da área de estudo e poços utilizados.

3.2. ANÁLISE DE FÁCIES

Para a definição do arcabouço faciológico foram utilizadas as descrições litológicas constantes nos perfis descritivos em escala 1:100, que detalham o intervalo da Formação Rio Bonito. Durante a análise das descrições, foi necessário o resgate histórico e interpretação de alguns termos – por exemplo “galhas de vitrênio”, ou “pedra-areia” – para a devida adaptação das descrições e interpretação das fácies. Tal adaptação foi feita utilizando os relatórios referentes ao Projeto Iruí-Butiá (CPRM 1983), o Relatório final do Projeto a Borda Leste da Bacia do Paraná (CPRM 1986) e comparando as características descritas àquelas de termos atuais constantes em livros e trabalhos de sedimentologia (Collinson et al. 2006, Miall 2006, Nichols 2009).

É importante ressaltar que na definição do arcabouço faciológico não houve acesso a afloramentos, testemunhos, ou fotografias dos testemunhos descritos nos perfis. Sendo assim, as descrições e interpretações são restritas apenas àquilo que consta nos perfis.

As fácies foram organizadas em forma de uma tabela (Tabela 2) com as colunas: sigla, litologia, estruturas, outros atributos, processos deposicionais e perfis de ocorrência. As siglas foram definidas adaptando a proposta de Miall (2006), com as letras maiúsculas para a litologia, as minúsculas para estruturas e minúsculas entre parênteses para características adicionais. As interpretações dos processos deposicionais envolvidos são baseadas em livros de sedimentologia e estratigrafia (Collinson et al.2006, Miall 2006, Nichols 2009).

As fácies definidas foram então arranjadas e tabeladas em associações de fácies e ambientes deposicionais com base em suas características, espessura, sucessão vertical nos perfis, assinatura geofísica e comparação com modelos deposicionais da literatura (Holz 2003, Nichols 2009).

3.3. MODELO TRIDIMENSIONAL

Neste trabalho, a confecção de um modelo tridimensional a partir das associações de fácies foi empregada para auxiliar a caracterização e interpretação do arcabouço estratigráfico da área estudada. Através do modelo tridimensional, é possível visualizar com maior facilidade a distribuição espacial das associações de fácies, definir feições paleogeográficas e avaliar a compartimentação da Formação Rio Bonito em unidades reservatório e não reservatório

Para a confecção do modelo tridimensional, foi utilizado o *software* MOVE, da *Petroleum Experts*.

Primeiramente, foram organizadas as informações a serem importadas para o modelo em forma de duas tabelas: uma com nome de cada poço (*Well Name*), coordenadas X, Y e Z da boca dos furos e profundidade final dos furos (MD) (Figura 4 A), e outra com as associações de fácies (*Horizon*) e a respectiva profundidade de topo de cada uma em cada poço (MD) (Figura 4 B). As tabelas foram então importadas em formato .csv, resultando na projeção tridimensional dos furos e horizontes representando as associações de fácies em cada um (Figura 5).

A

Well Name	X	Y	Z	MD
IB-01-RS	335000	6661000	43.65	206.85
IB-78-RS	331103	6656886	45.33	96.24
IB-97-RS	329000	6654000	45	140.3
IB-98-RS	331001	6654988	42.27	93.7
IB-99-RS	332990	6656000	41.92	70.3
IB-106-RS	334000	6660000	45	239.64
IB-113-RS	333000	6658000	39.95	155.9
IB-156-RS	332560	6653452	60.04	94.9
IB-157-RS	332032	6654939	48.42	120.95
IB-158-RS	333999	6657999	50.53	144.85
IB-169-RS	330120	6658099	41.05	200.4
IB-170-RS	332991	6659008	41.71	205
IB-172-RS	331997	6657994	38.31	152.85

B

Well Name	MD	Horizon
IB-78-RS	64.08	canal de maré
IB-78-RS	68.85	Planície de maré
IB-78-RS	71	canal de maré
IB-78-RS	73.26	estuário central
IB-78-RS	74.09	canal de maré
IB-78-RS	76.75	Planície de maré
IB-78-RS	80.30	estuário central
IB-78-RS	86.86	leque aluvial
IB-98-RS	80.05	canal de maré
IB-98-RS	86	Planície de maré
IB-98-RS	86.43	canal de maré
IB-99-RS	50.93	canal de maré
IB-99-RS	54.60	pântano
IB-99-RS	59.15	canal de maré
IB-99-RS	63	Planície de maré

Figura 4: Recorte ilustrativo das tabelas de dados a serem importados para o MOVE. A) Tabela de coordenadas X, Y, Z, e profundidades finais (MD). B) Tabela de associações de fácies (*Horizon*) e profundidade de topo (MD).

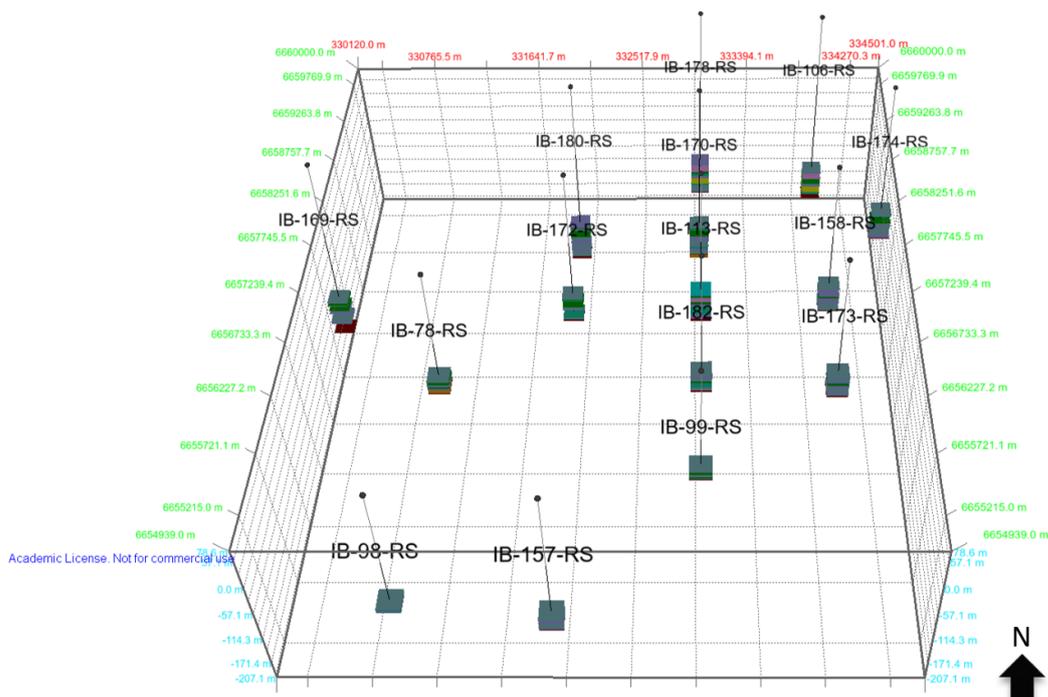


Figura 5: Projeção dos furos e horizontes de associações de fácies no MOVE. Exagero vertical de 5 vezes.

Após importados os dados, foram projetadas 14 seções com direções N-S, E-W, NE-SW e NW-SE interceptando os poços (Figura 6). Nas seções foi feita a correlação lateral entre as associações de fácies utilizando a ferramenta "Horizon" e traçando manualmente as superfícies de correlação (Figura 7). Para o traçado, foram consideradas além das próprias associações, as sucessões verticais e as assinaturas de raios gama. Com o traçado concluído, foram geradas superfícies (Figura 8) com a ferramenta "Surface from lines" e a partir das superfícies foi gerado o preenchimento tridimensional utilizando a ferramenta "Volume" (Figuras 9 a 12 e 14 a 20).

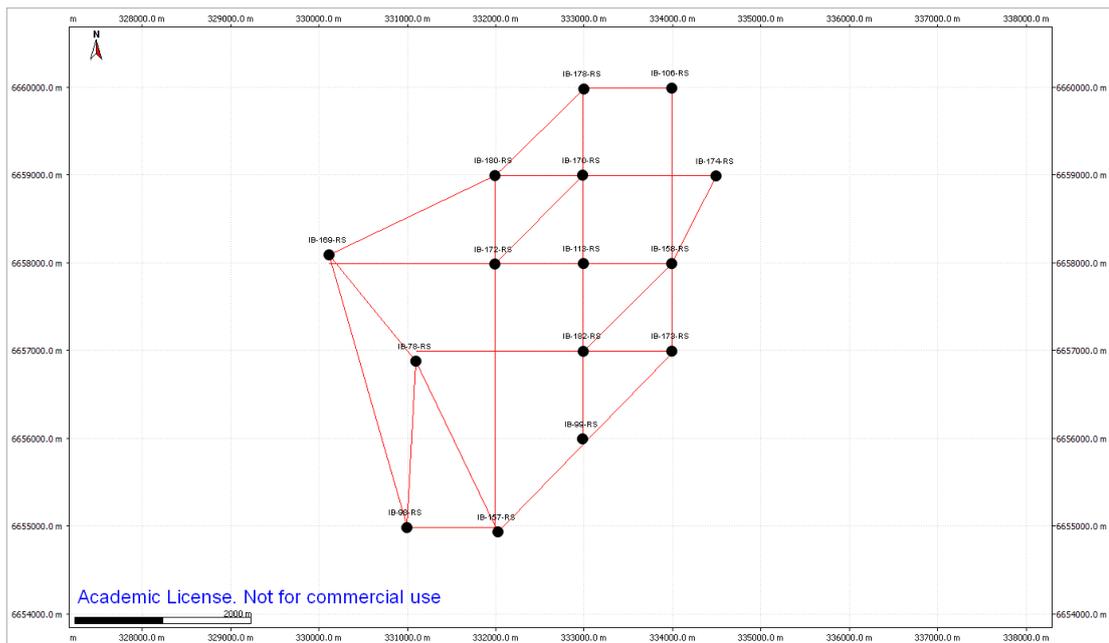


Figura 6: Visão em mapa dos poços e seções projetadas no software MOVE.

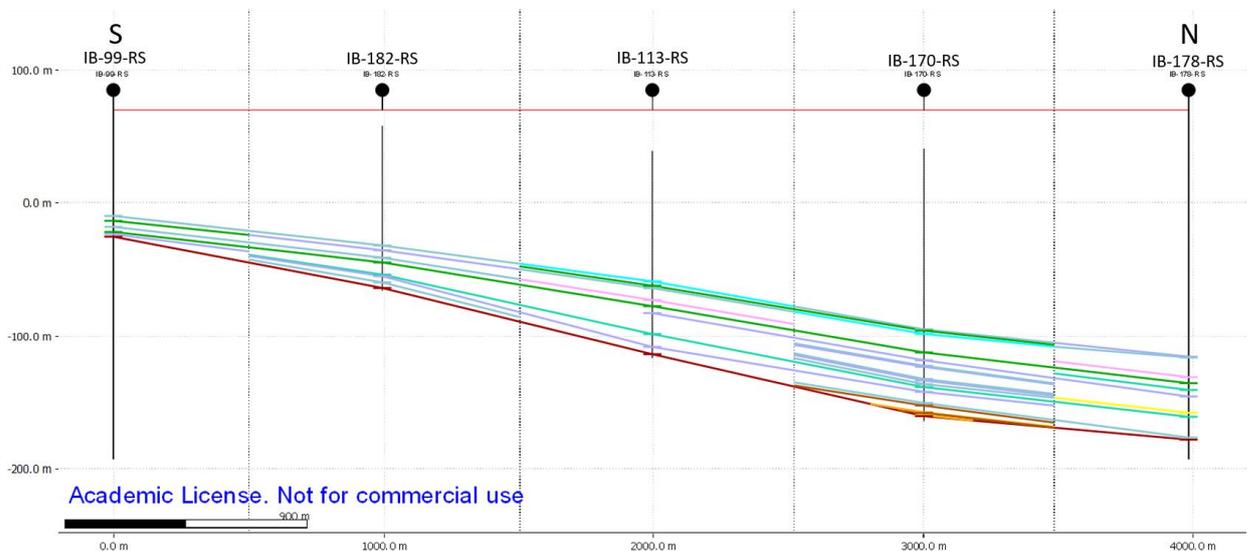


Figura 7: Seção de correlação N-S, com horizontes traçados com a ferramenta *Horizon* no software MOVE. Exagero vertical de 5 vezes.

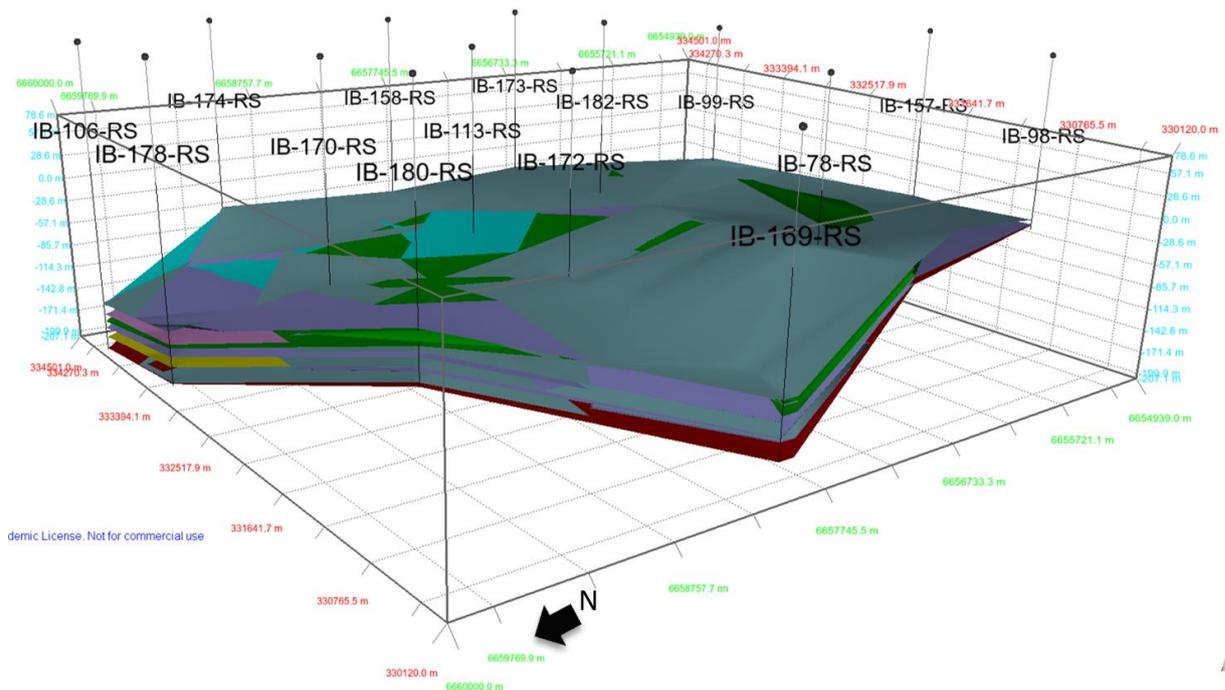


Figura 8: Superfícies das associações de fácies gerados com a ferramenta *Surface from lines* no software MOVE. Exagero vertical de 5 vezes.

3.4. ANÁLISE ESTRATIGRÁFICA E DE RESERVATÓRIOS

Para a análise estratigráfica, foram utilizados os princípios e conceitos da estratigrafia de sequências segundo as propostas de Catuneanu (2006), Catuneanu et al. (2009), Zacchini e Catuneanu (2013) e Magalhães et al. (2020). A partir do modelo tridimensional gerado pela correlação das associações de fácies, foi feita uma sucinta interpretação, identificando intervalos transgressivos e regressivos, considerando a distribuição espacial das associações de fácies no modelo, os dados do arcabouço faciológico, perfis litológicos e as curvas de raios gama.

A análise de reservatórios limitou-se a identificação unidades reservatório e unidades não-reservatório, com base em critérios relevantes para a avaliação qualitativa de reservatórios, tais quais: fácies contidas em cada associação (litologias, estruturas e a provável porosidade e permeabilidade relacionadas), geometria, continuidade lateral, conectividade entre os corpos, e relação espacial com outras associações de fácies (Bjorlykke 2011).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. ANÁLISE DE FÁCIES

4.1.1 Fácies

A partir da análise das descrições litológicas dos 15 perfis, foram definidas 20 fácies sedimentares, organizadas na tabela 2. Compõem o conjunto de fácies conglomerados, arenitos, heterolitos, siltitos, lamitos e carvão, distribuídos ao longo dos perfis com espessuras variadas, centimétricas a métricas.

Tabela 2: Fácies sedimentares com código, descrição, estruturas, outros atributos, processos deposicionais interpretados e perfis de ocorrência.

Fácies	Litologia	Estruturas	Outros atributos	Processos deposicionais	Perfis de ocorrência
GMm(cc)	Paraconglomerado cinza polimítico: grânulos a seixos (quartzo, feldspato, argilito) em uma matriz siltico-carbonática, ou carbonosa	Maciço	Localmente ocorrem nódulos de pirita, clastos carbonosos, de argila e restos vegetais.	Migração de barras conglomeráticas por tração, ou deposição via fluxo de detritos.	78 98 157 158 170 172 182
GMm	Paraconglomerado polimítico: grânulos a seixos (quartzo, xisto) angulosos a subangulosos em uma matriz siltico-arenosa	Maciço	-	Depósito de fluxo de detritos.	78 170
GCm	Ortoconglomerado polimítico: grânulos e seixos de quartzo e feldspato em matriz siltico-arenosa	Maciço	-	Migração de barras conglomeráticas por tração, ou deposição via fluxo denso não coesivo.	157 172 173
Sh(f)	Arenito esbranquiçado fino intercalado irregularmente com lâminas siltosas cinzas (milimétricas)	Laminação plano-paralela à inclinada	Ocorrem clastos e <i>drapes</i> argilosos e carbonosos. Localmente ocorrem restos vegetais. Composição quartzo-feldspática e cimentação carbonática.	Alternância irregular, em ambiente subaquoso, de migração de formas de leito por tração em regime de fluxo superior, e decantação de finos.	78 106 113 158 173 178 182
Sc(f)	Arenito esbranquiçado fino intercalado irregularmente com lâminas siltosas cinzas (milimétricas)	Laminação cruzada (<i>current ripples</i>). Localmente estrutura de carga e fluidificação	Ocorrem clastos e <i>drapes</i> argilosos e carbonosos. Localmente ocorrem restos vegetais. Composição quartzo-feldspática e cimentação carbonática.	Alternância irregular, em ambiente subaquoso, de migração de formas de leito por tração em regime de fluxo inferior, e decantação de finos.	78 106 178 182
Sh	Arenito esbranquiçado fino a médio, grãos subarredondados	Laminação plano-paralela à inclinada	Ocasional presença de material carbonoso e pirita (nódulos), restos vegetais, localmente cimento carbonático, composto por quartzo e feldspato.	Migração de formas de leito em ambiente subaquoso por tração em regime de fluxo superior a transicional.	170 172 174 178
Sc	Arenito esbranquiçado fino a médio, grãos subarredondados	Laminação cruzada (<i>current ripples</i>)	Ocasional presença de material carbonoso e pirita (nódulos), restos vegetais, localmente cimento carbonático, composto por quartzo e feldspato.	Migração de formas de leito em ambiente subaquoso por tração em regime de fluxo inferior.	170 172 174 178
Sw	Arenito esbranquiçado fino a médio, grãos subarredondados	Ondulações simétricas (<i>wave-ripples</i>)	Composição quartzosa, localmente micáceo, com cimento silicoso e carbonático.	Retrabalhamento de formas de leito arenosas em ambiente subaquoso pela ação de fluxo oscilatório.	170 172 174

Fácies	Litologia	Estruturas	Outros atributos	Processos deposicionais	Perfis de ocorrência
Shcs	Arenito esbranquiçado fino intercalado com lâminas siltosas cinzas e nível grosso na base	Estruturas <i>hummocky</i> e <i>swaley</i> e estrutura de carga	Contato abrupto com as camadas sotopostas. Arenito de composição quartzo feldspática, cimentação carbonática.	Migração de formas de leito em ambiente subaquoso sob a ação de fluxo combinado influenciado por tempestades.	113
Sm	Arenito esbranquiçado fino a grosso	Maciço	Localmente ocorrem clastos carbonosos e/ou argilosos. Composição quartzo feldspática, por vezes micáceo e cimentação silicosa e carbonática.	Deposição rápida de sedimentos arenosos em fluxos densos (maciço), ou estrutura resultante de processo de fluidificação ou bioturbação intensa (maciço aparente).	78 99 106 113 156 158 170 172 173 174 178 182
Smn	Arenito esbranquiçado fino a grosso	Maciço, granodecrescência ascendente (gradação normal)	Contato abrupto com as camadas sotopostas. Composição quartzo feldspática, cimentação carbonática.	Deposição rápida de sedimentos arenosos em fluxos densos, com redução gradual da energia de transporte.	106 178
Sm(f)	Arenito cinza claro fino a grosso intercalado irregularmente com lâminas de siltito cinza	Maciço. Localmente estruturas de fluidificação e estrutura de carga	Ocorrem clastos carbonosos e argilosos. Composição quartzo-feldspática, por vezes micáceo, e cimentação carbonática.	Alternância de decantação de finos e processo de deposição rápida de sedimentos arenosos em fluxos densos (maciço), ou processo de fluidificação, ou bioturbação intensa (maciço aparente).	78 99 106 156 157 158 169 170 172 173 174
Sm(g)	Arenito cinza-esverdeado mal selecionado, fino com porções grossas e matriz argilosa. Ocorrem níveis milimétricos de siltito	Maciço	Localmente ocorrem restos vegetais e clastos carbonosos. Apresenta cimento carbonático.	Depósito de fluxo gravitacional.	98 113 174 178 180 182
H	Heterolito	<i>Flaser e linsen</i> , laminação cruzada e lenticular nas porções arenosas.	-	Alternância cíclica de energia em ambiente subaquoso. Alternância de migração de formas de leito por tração em regime de fluxo inferior a superior, e decantação de finos.	78 106 170
Fm	Siltito cinza	Maciço. Localmente superfícies de escorregamento e laminação paralela.	Ocorrem clastos e lentes de material carbonoso e restos vegetais. Fissuras podem estar preenchidas por carbonato.	Depósito de decantação de finos em ambiente subaquoso (predominância da fração silte).	78 98 99 106 113 157 158 169 170 172 173 174 178 180 182

Fácies	Litologia	Estruturas	Outros atributos	Processos deposicionais	Perfis de ocorrência
Fm(c)	Siltito carbonoso	Maciço. Localmente com deformação penecontemporânea e laminação paralela.	Ocorrem restos vegetais.	Depósito de decantação de finos e matéria orgânica vegetal em ambiente subaquoso.	78 98 99 106 113 157 158 169 170 172 173 174 178 180 182
Fm(g)	Siltito cinza com seixos dispersos: grânulos e seixos até 2cm, subangulares a angulosos (quartzo, feldspato)	Maciço. Localmente com deformação penecontemporânea e laminação paralela.	Localmente ocorrem clastos carbonosos	Depósito de fluxo de detritos.	78 98 99 113 169 174 180
Fl	Siltito cinza-escuro com lâminas milimétricas de arenito muito fino esbranquiçado	Laminação plano-paralela a subparalela. Bioturbação.	-	Depósito de decantação de finos em ambiente subaquoso (fração silte e areia fina).	106 174 178 180
Mm	Argilito cinza-claro	Maciço. Localmente superfícies de escorregamento	-	Depósito de decantação de finos em ambiente subaquoso (predominância da fração argila).	158 172 174 182
C	Carvão	Maciço	Ocorrem nódulos e níveis milimétricos de pirita. Fissuras podem estar preenchidas por carbonatos.	Depósito de decantação de finos e matéria orgânica vegetal em ambiente pantanoso.	78 98 99 106 113 157 158 169 170 172 173 174 178 180 182

4.1.2. Associações de fácies e ambientes deposicionais

A partir da organização da tabela de fácies e análise da sucessão vertical de fácies, foram interpretadas 8 associações de fácies, divididas em 3 ambientes deposicionais, sumarizados na tabela 3.

Tabela 3: Ambientes deposicionais, associações de fácies e fácies constituintes.

Ambiente deposicional	Associação de fácies	Fácies constituintes
Aluvial	Planície aluvial	C, Fm
	Leque aluvial	GMm
Transicional	Estuário central	Fm, Fl, C, Mm, Fm(g), Sm(g), Sm
	Canais de maré	H, Sc(f), Sh(f), Sm(f), Sm, Sm(g), GMm(cc), GCm
	Planície de maré	C, Fm, Fm(c), Mm
	<i>Washover</i>	Smn
	Barreira litorânea	Sm
Marinho	<i>Shoreface</i>	Sw, Sh, Sc, Shcs

4.1.2.1. Ambiente Aluvial

- Associação de fácies de planície aluvial

A associação de fácies de planície aluvial é composta pelas fácies C e Fm. Ocorre de forma bastante limitada, apenas na base dos perfis IB-170-RS e IB-78-RS, na porção centro-norte da área. A associação é caracterizada pela pequena espessura acumulada, pelas finas camadas de carvão (centimétricas) e também pela associação vertical com a fácies de leque aluvial.

- Associação de fácies de leque aluvial

A associação de fácies de leque aluvial é composta unicamente pela fácies GMm. Ocorre de forma bastante limitada, apenas na base dos perfis IB-170-RS e IB-78-RS, na porção centro-norte da área. A associação é caracterizada pela ocorrência de paraconglomerados com composição siltico-arenosa e a presença de clastos derivados de rochas do embasamento, como xistos e também pela associação vertical com as fácies de planície aluvial.

4.1.2.2. Ambiente Transicional

- Associação de fácies de estuário central

A associação de fácies de estuário central é composta pelas fácies Fm, Fl, C, Mm, Fm(g), Sm(g), Sm. Esta associação ocorre em todos os perfis, porém não tem grande continuidade lateral, estando frequentemente interdigitada com a associação de fácies de canais de maré.

A associação de camadas métricas de siltitos e lamitos maciços, com camadas centimétricas a decimétricas de carvão e frequentes camadas centimétricas a decimétricas de finos com grânulos dispersos e arenitos maciços, indica um ambiente no qual, embora predomine a deposição em ambiente de baixa energia, há a entrada relativamente frequente de sedimentos mais grossos arenosos, demonstrando uma variação energética. Estas características combinadas a intercalação com canais de maré, sem evidências de exposição subaérea corroboram para a interpretação da associação de fácies como formada em um ambiente estuarino, e não deltaico (Nichols 2009).

- Associação de fácies de canais de maré

A associação de fácies de canais de maré é composta pelas fácies H, Sc(f), Sh(f), Sm(f), Sm, Sm(g), GMm(cc) e GCm. Esta associação ocorre em todos os perfis, porém lateralmente é bastante descontínua, estando frequentemente intercalada com as associações de fácies de estuário central ou planície de maré.

A fácies heterolítica com estruturas *flaser* e *linsen*, e os arenitos com intercalações milimétricas de finos e presença de *drapes* de argila demonstram características diagnósticas de um ambiente influenciado por marés (Collinson et al. 2006, Nichols 2009), com alternância constante entre tração, depositando sedimentos arenosos maciços e com laminação cruzada, ou horizontal, e decantação, depositando finos em intervalos de baixa energia (Collinson et al. 2006, Nichols 2009).

A presença de intraclastos argilosos nos arenitos, indicando que houve algum tipo de erosão do substrato argiloso e a presença das fácies conglomeráticas evidenciam características de canal de maré, onde as correntes de maré podem ser mais energéticas (Nichols 2009).

As fácies de arenitos maciços com finos caracterizam a ocorrência de barras de maré no interior dos canais. As típicas estratificações cruzadas de médio ou até grande porte que se encontrariam nessas barras (Nichols 2009), muito provavelmente não são visíveis nas dimensões de um testemunho, fazendo com que mesmo os litotipos de arenito mais fino sejam vistos como aparentemente maciços.

- Associação de fácies de planície de maré

A associação de fácies de planície de maré é composta pelas fácies C, Fm, Fm(c) e Mm. É a associação de fácies de maior continuidade lateral na área, ocorrendo amplamente em quase todos os perfis. A associação é caracterizada pela ocorrência de camadas mais espessas de carvão (30cm até métricas), intercalado com siltitos maciços e siltitos carbonosos, característicos de um ambiente de grande acúmulo de matéria orgânica vegetal e sedimentos finos em ambiente de baixa energia sem que haja a entrada de sedimentos arenosos, como um pântano (Nichols 2009). Ocorre em sucessão vertical com associações de fácies de estuário central, barra de marés, e *shoreface*.

- Associação de fácies de *washover*

A associação de fácies de *washover* é composta unicamente pela fácies Smn. Ocorre de forma localizada, nos perfis IB-106-RS e IB-178-RS. A fácies característica Smn apresenta base abrupta, gradação normal de granulometria grossa para fina, em camadas métricas, juntamente com estrutura maciça, o que indica rápida deposição, com redução gradual de energia, típica da deposição de leques (Collinson et al. 2006, Nichols 2009). A presença de cimentação carbonática e associação com fácies de estuário central, planície de maré e canais de maré permite caracterizar o leque como um leque de *washover*.

- Associação de fácies de barreira litorânea

A associação de fácies de barreira litorânea é composta unicamente pela fácies Sm. Ela ocorre de forma localizada, nos perfis IB-106-RS, IB-113-RS e IB-178-RS. A fácies característica, arenito maciço Sm, quando identificada como barreira, não apresenta restos vegetais ou intraclastos argilosos e ocorre em sucessão vertical com fácies de *shoreface*. Tal maturidade mineralógica, e possivelmente textural,

interpretada através dos perfis de raios gama e associação com as fácies de *shoreface* permitem caracterizar algumas das ocorrências da fácies Sm como prováveis depósitos de praia em barreiras litorâneas.

4.1.2.3. Ambiente Marinho

- Associações de fácies de *shoreface*

A associação de fácies de *shoreface* é composta pelas fácies Sh, Sc, Sw e Shcs. Ocorre de forma restrita, mas com boa continuidade lateral na porção centro norte da área, se estendendo em direção NE.

A sucessão de fácies características de arenitos apresenta principalmente estruturas geradas por ondas (*wave-ripples*) e correntes (laminação plano paralela e cruzada), com a presença apenas localmente de níveis siltosos/argilosos onde ocorrem prováveis estruturas do tipo *swaley* e *hummocky*, e sem intraclastos ou restos vegetais, ocorrendo em pacotes contínuos que atingem até 10 m de espessura. A maturidade textural e mineralógica, combinada ao cimento carbonático e a presença de estruturas sugestivas da ação de ondas são diagnósticos de um ambiente marinho raso (Collinson et al. 2006, Nichols 2009), caracterizando uma associação de *shoreface*.

4.2. MODELO TRIDIMENSIONAL E ANÁLISE ESTRATIGRÁFICA

A modelagem tridimensional gerou um modelo de distribuição das associações de fácies no intervalo de estudo (Figura 9), sendo possível visualizar o posicionamento relativo, agrupamento das associações e identificação da sucessão vertical, contexto paleogeográfico e evolução da sedimentação.

A sucessão vertical identificada, de forma geral, da base para o topo é de associações aluviais logo acima do embasamento (Figura 10), sobrepostas por associações transicionais (Figura 11), que conseqüentemente são sobrepostas por associações marinhas (Figura 12), e então novamente por associações transicionais

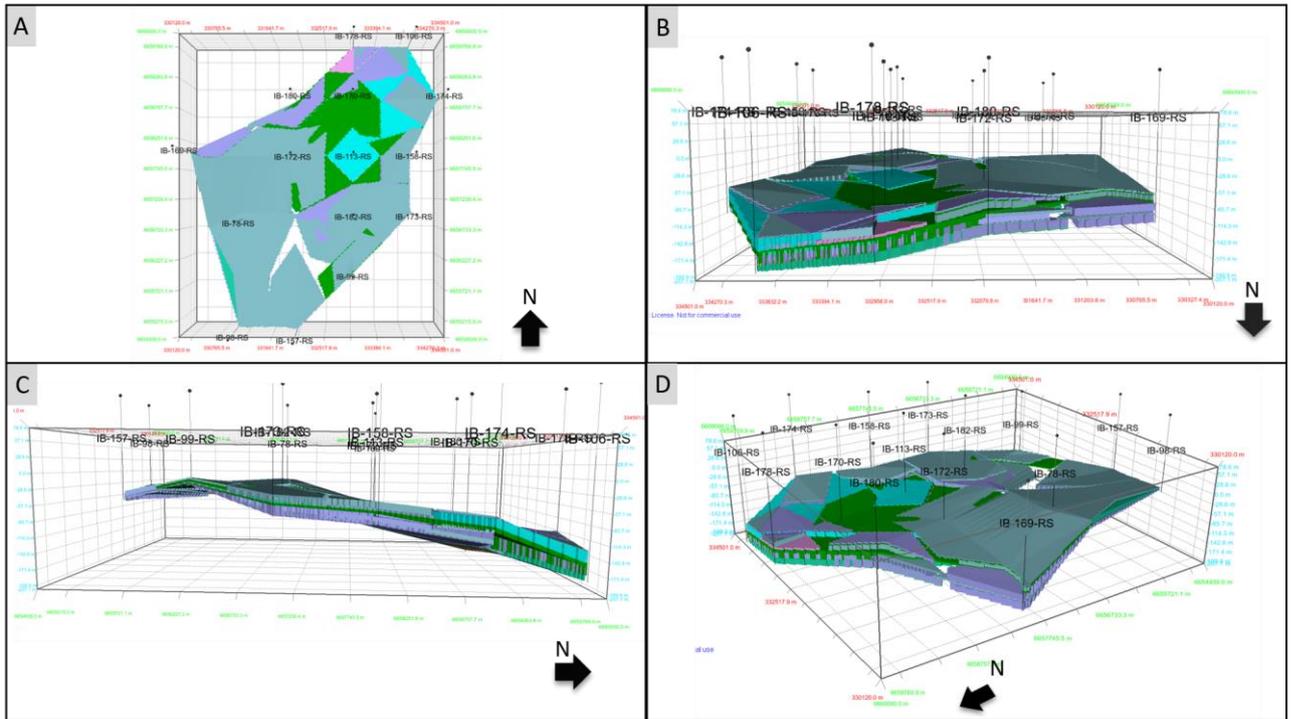


Figura 10: Visualizações do modelo 3D completo no software MOVE. A) Visualização em planta. B) Visualização E-W. C) Visualização N-S. D) Visualização geral. Exagero vertical de 5 vezes.

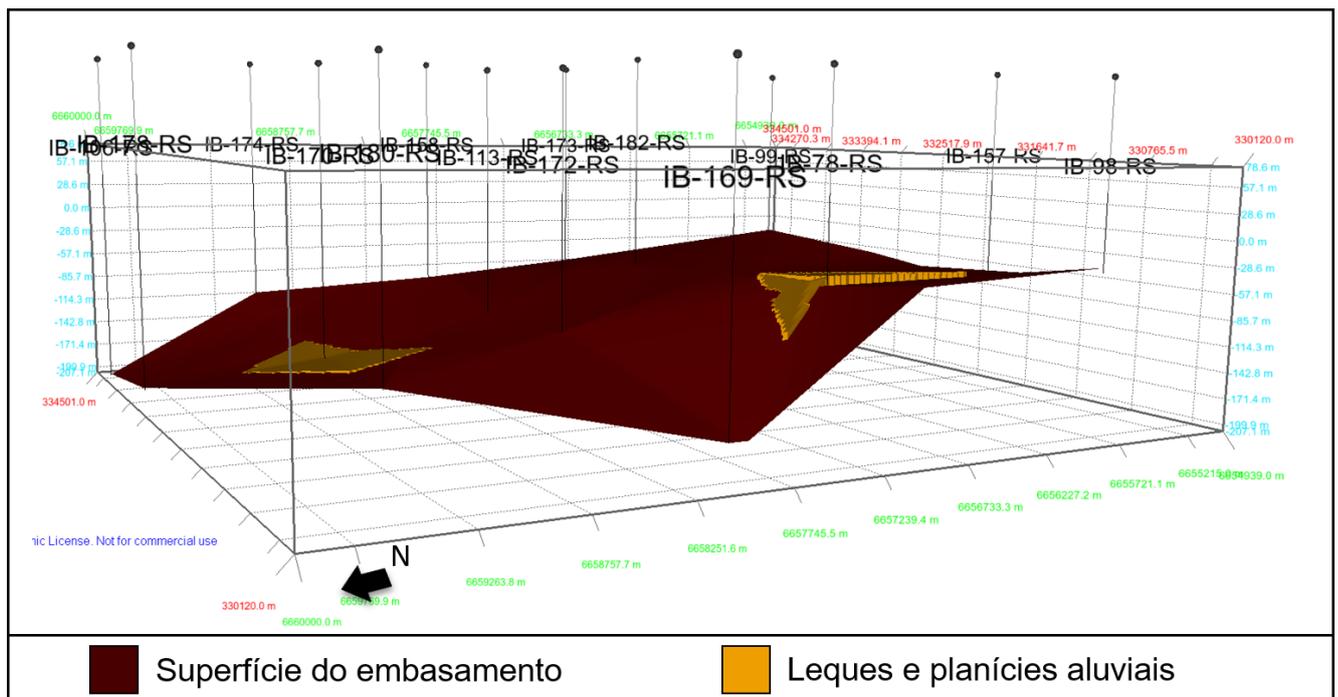


Figura 9: Visualização das associações aluviais sobre o embasamento no *software* MOVE. Exagero vertical de 5 vezes.

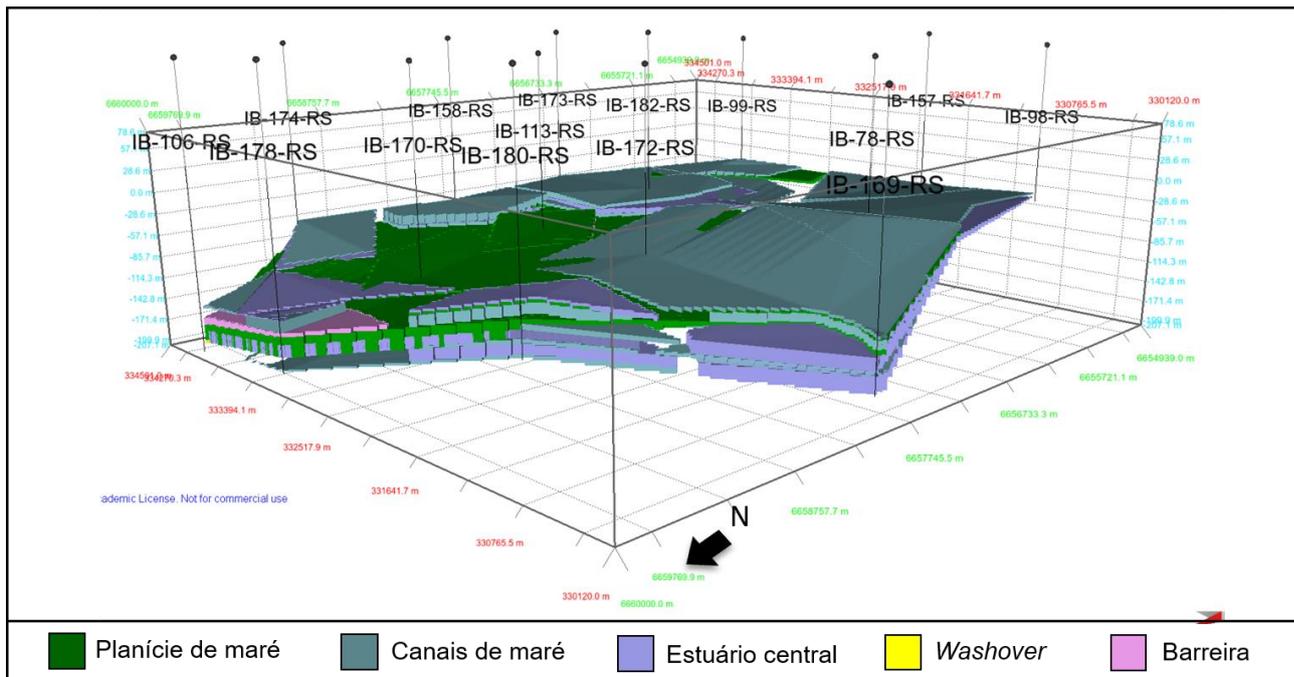


Figura 11: Visualização das associações transicionais no software MOVE. Exagero vertical de 5 vezes.

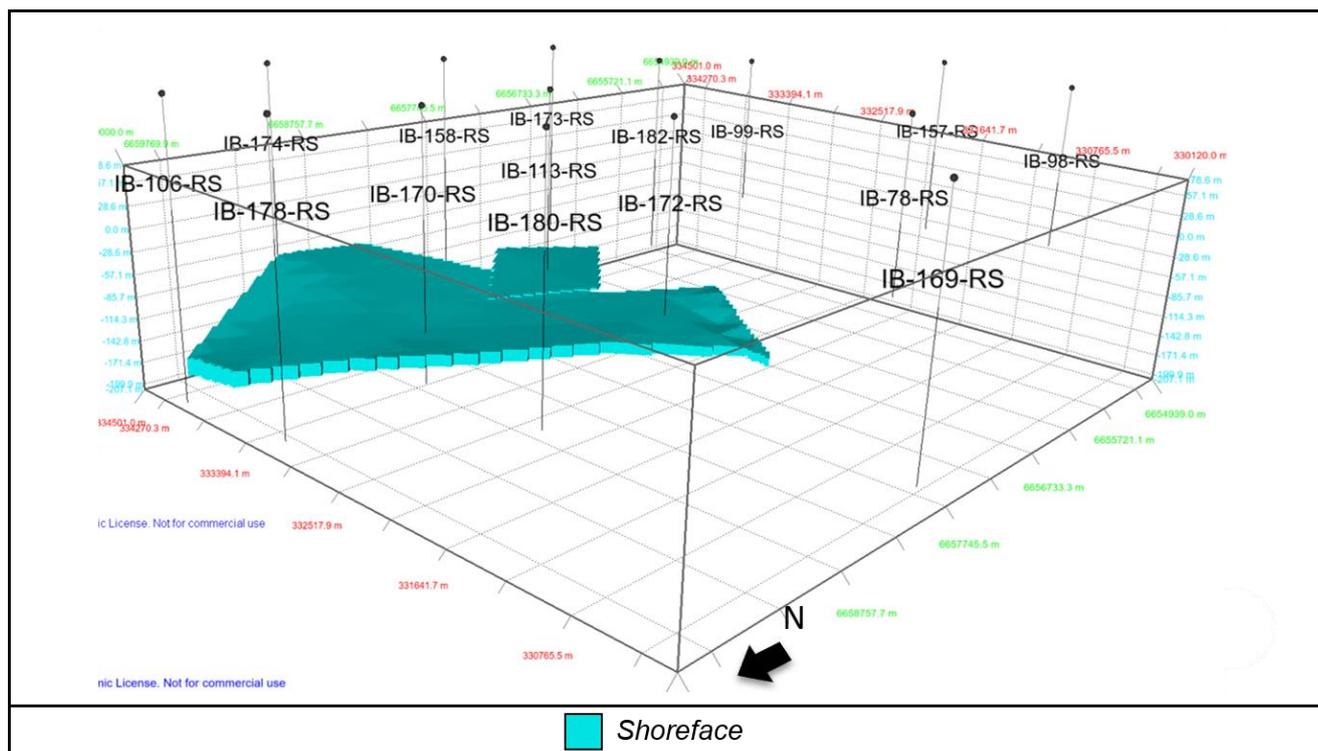


Figura 12: Visualização das associações marinhas no software MOVE. Exagero vertical de 5 vezes.

Dessa forma, o intervalo apresenta uma tendência geral aparentemente transgressiva, mas pontuada por intervalos menores de regressão e transgressão descritos a seguir e ilustrados na Figura 13.

1) A partir do embasamento, é identificado um primeiro evento transgressivo em uma sucessão de fácies de ambiente aluvial.

2) Em seguida, se segue outro evento transgressivo, marcado na base por uma superfície de ravinamento (Paraconglomerado com base erosiva), que registra o afogamento do ambiente aluvial por um estuário.

3) O estuário avança em mais um evento transgressivo.

4) Gradualmente, o estuário é preenchido e assoreado, dando lugar a extensos depósitos pantanosos de planície de maré, em um intervalo regressivo.

5) As planícies de maré são afogadas, recobertas por depósitos marinhos de *shoreface*, em um novo evento transgressivo, limitado na base por uma superfície de ravinamento

6) A tendência transgressiva atinge seu máximo, marcado por uma superfície de inundação máxima e então dá lugar a um novo intervalo regressivo, no qual o ambiente marinho passa a um ambiente transicional estuarino e de planícies de maré.

É importante ressaltar que a superfície de inundação máxima em outras porções a área, mais a sul, se encontra em meio a associações de fácies transicionais, pois o ambiente marinho não avançou sobre toda a área.

Além disso, em função da identificação da superfície de inundação máxima, pode-se indicar o intervalo regressivo (6) acima como possivelmente um Trato de Sistemas de Mar Alto (HST), por ser limitado na base pela superfície de inundação máxima e apresentar uma sucessão vertical progradacional de associações transicionais sobre as marinhas, e o intervalo transgressivo (5) abaixo como possivelmente um Trato de Sistemas Transgressivo (TST), por ser limitado no topo pela superfície de inundação máxima.

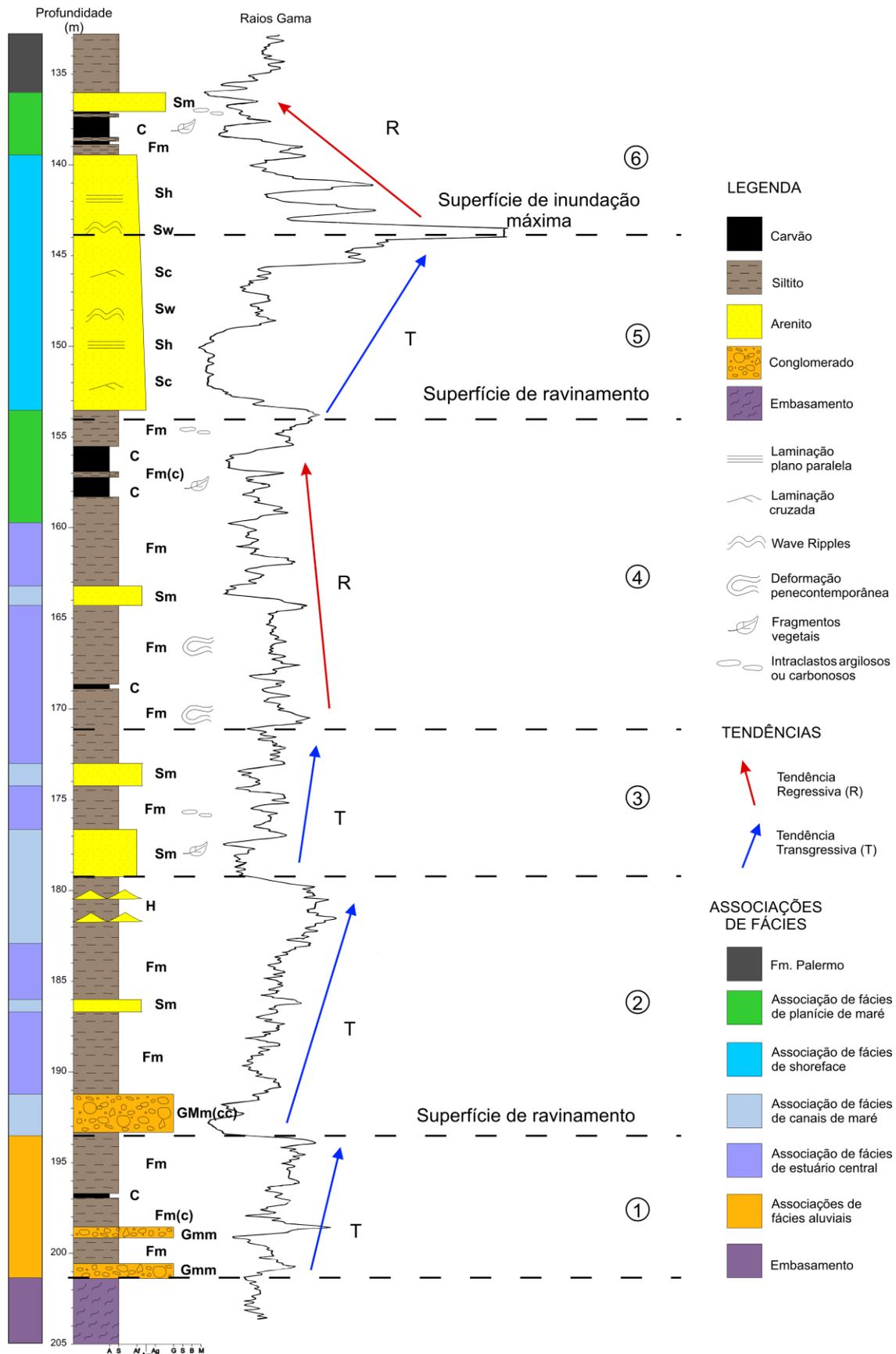


Figura 13: Coluna estratigráfica e perfil de raios gama representativos da sucessão de fácies da área, indicando os intervalos transgressivos e regressivos 1 a 6 identificados (elaborado a partir do perfil descritivo do furo IB-170-RS)

Com relação aos demais intervalos, devido à classificação das superfícies apenas como superfícies de ravinamento, não foram indicados outros possíveis tratamentos de sistemas.

4.3. CONSIDERAÇÕES SOBRE POTENCIAL DE RESERVATÓRIOS

Neste trabalho também foi possível fazer interpretações acerca do potencial de reservatórios, classificando as associações de fácies em unidades reservatório e não reservatório, a partir dos resultados da análise de fácies e do modelo tridimensional. Os critérios utilizados para esta análise foram: fácies contidas na associação (litologias, estruturas e a porosidade e permeabilidade relacionadas), geometria, continuidade lateral, conectividade entre os corpos e relação espacial com outras associações de fácies.

4.3.1. Unidades reservatório

- *Shoreface*

A associação de fácies de *shoreface* constitui a mais importante unidade reservatório do intervalo de estudo. As fácies predominantes de arenitos finos a médios composicionalmente maduros, bem selecionados, com estratificação plano paralela e *wave-ripples* costumam apresentar boa porosidade e permeabilidade (Bjorlykke 2011).

Além disso, no modelo tridimensional a associação apresenta geometria tabular e a mais extensa continuidade lateral em relação às demais unidades reservatório, com extensão de cerca de 3 km com orientação NE-SW (Figura 14). Imediatamente acima e abaixo da associação de *shoreface*, encontram-se pacotes da associação de planície de maré, também de grande extensão lateral, que constituem unidades não reservatório e importantes barreiras de permeabilidade.

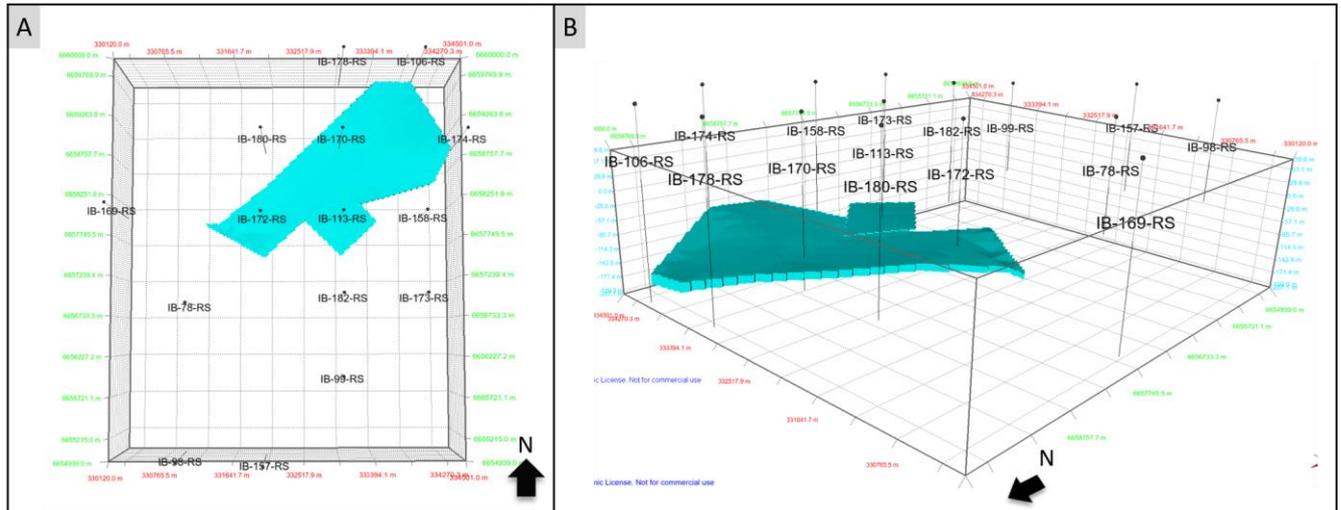


Figura 14: Visualizações da associação de fácies de *shoreface* no software MOVE A) Visualização em Planta. B) Visualização geral. Exagero vertical de 5 vezes.

- Barreira litorânea e *washover*

As associações de fácies barreira litorânea e *washover* também foram consideradas como importantes unidades reservatório. Ambas são constituídas por fácies de arenito maciço fino a grosso, com alta maturidade textural e mineralógica, que contribuem para boas condições de porosidade, permeabilidade e conectividade (Bjorlykke 2011).

No modelo tridimensional, ambas as associações ocorrem de forma bastante restrita, em corpos isolados, com extensão lateral de cerca de 1 km (Figura 15 e Figura 16). No caso da associação de barreira litorânea, ela ocorre em continuidade vertical com a associação de fácies de *shoreface* proporcionando uma possível conectividade com este outro intervalo. Já a associação de *washover* ocorre em meio a uma sucessão de canais de maré e planície de maré que podem ou não vir a ser barreiras de permeabilidade.

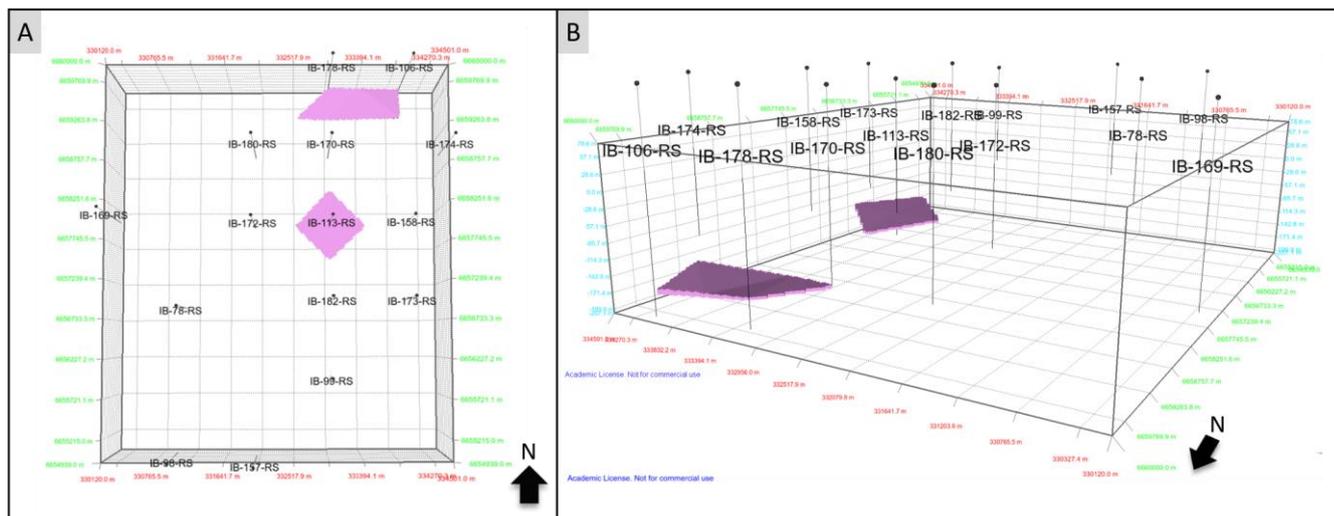


Figura 16: Visualizações da associação de fácies de barreira litorânea no *software* MOVE. A) Visualização em Planta. B) Visualização geral. Exagero vertical de 5 vezes.

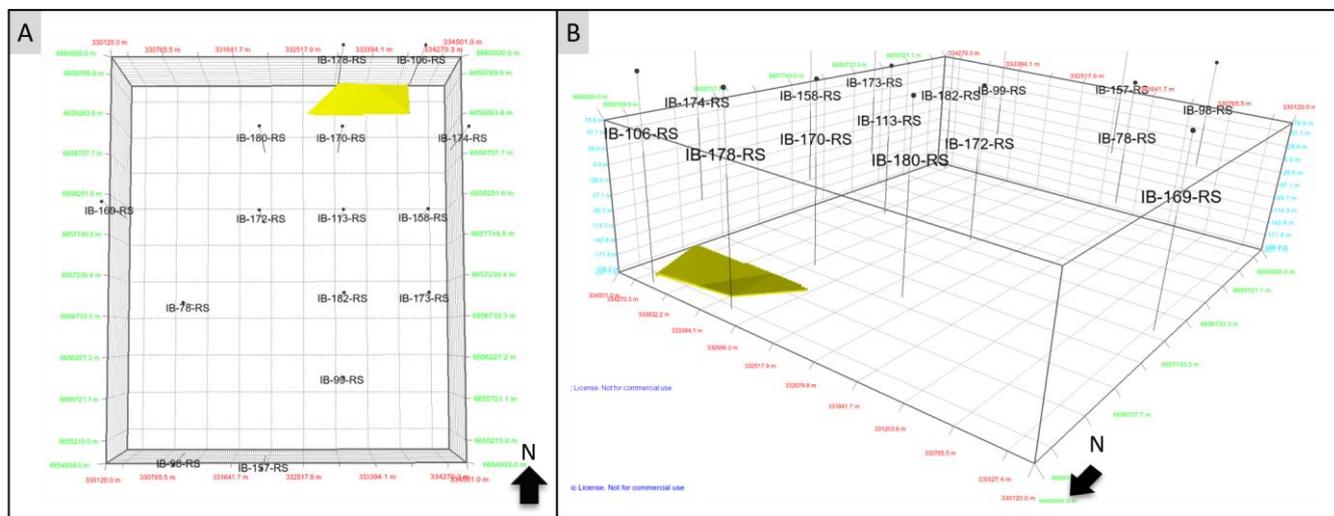


Figura 15: Visualizações da associação de fácies de *washover* no *software* MOVE. A) Visualização em Planta. B) Visualização geral. Exagero vertical de 5 vezes.

- Canais de maré

A associação de fácies de canais de maré também foi considerada como um reservatório por sua ampla ocorrência em todos os perfis e a abundância de fácies arenosas finas a grossas. Apesar disso, as principais fácies arenosas que compõem a associação têm a presença de *drapes* e intraclastos, combinados com estruturas de laminação cruzada e níveis de finos, ou matriz, no caso das fácies cascalhosas. Estes elementos, apesar de descontínuos, tendem a atuar como barreiras internas no reservatório, atribuindo elevada heterogeneidade interna e limitando a circulação de fluidos (Bjorlykke 2011).

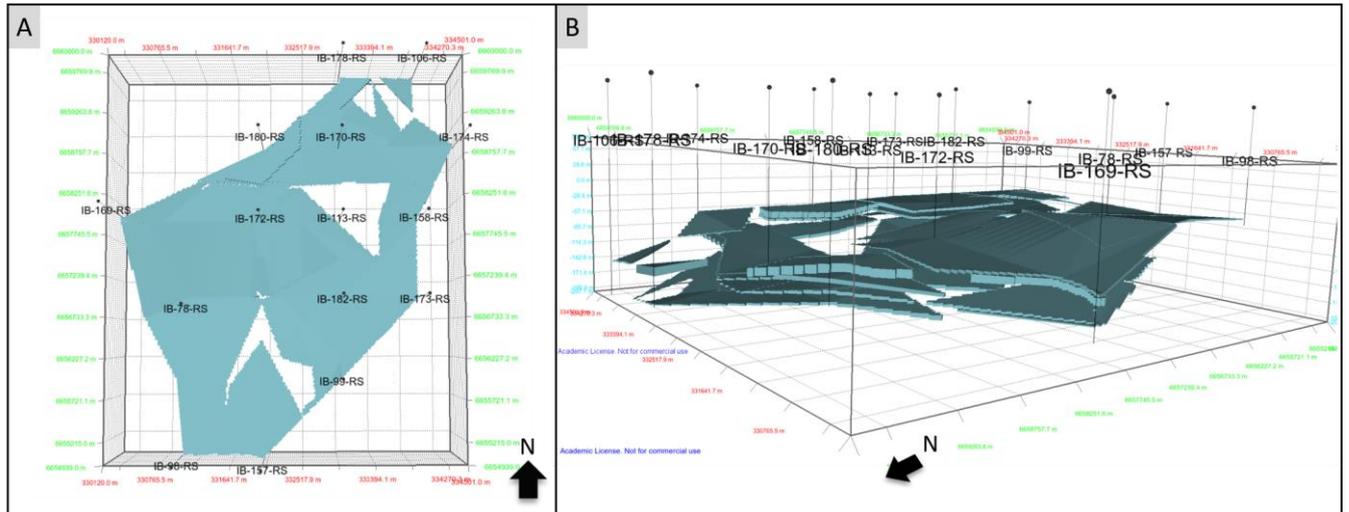


Figura 17: Visualizações da associação de fácies de canais de maré no software MOVE. A) Visualização em Planta. B) Visualização geral. Exagero vertical de 5 vezes.

No modelo tridimensional, nota-se a ampla distribuição desta associação em toda a área, bem como a descontinuidade e reduzida extensão lateral dos corpos (Figura 17). As associações de estuário central e planície de maré (unidades não reservatório), frequentemente interdigitadas com a associação de canais de maré, poderiam contribuir como selante para esta unidade reservatório, porém, devido a descontinuidade, estas unidades não reservatório podem atuar também como barreiras, impedindo a conexão e circulação de fluidos entre os corpos, mesmo que estes estejam próximos, reduzindo assim a qualidade de reservatório.

4.3.2. Unidades não-reservatório

As associações de fácies caracterizadas como unidades não reservatório são aquelas constituídas por fácies predominantemente finas de siltitos maciços, laminados, lamitos e carvão. Em termos de porosidade e permeabilidade, estes tipos de litologia são praticamente impermeáveis (Bjorlykke 2011) e por isso podem servir como selo ou barreira para a circulação de fluidos nos reservatórios.

A associação de planície de maré é a principal unidade não-reservatório, se estendendo lateralmente de forma constante por quase toda a área (Figura 18), separando reservatórios de canais de maré e *washover* e barreira abaixo e isolando *shoreface* acima.

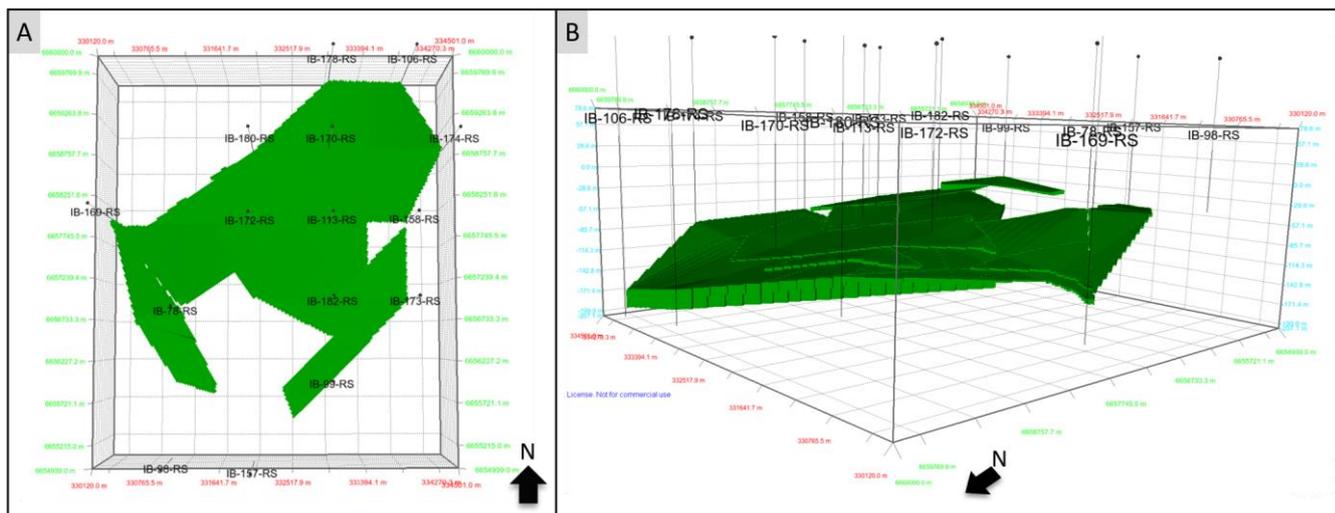


Figura 19: Visualizações da associação de fácies de planície de maré no *software* MOVE. A) Visualização em Planta. B) Visualização geral. Exagero vertical de 5 vezes.

A associação de estuário central é a mais abundante no intervalo estudado ocorrendo em todos os perfis, porém de forma descontínua (Figura 19). Assim, apesar de não representar um grande divisor, ela atua como selo ou barreira de fluxo localmente, intercalando-se com reservatórios de canais de maré e *washover*.

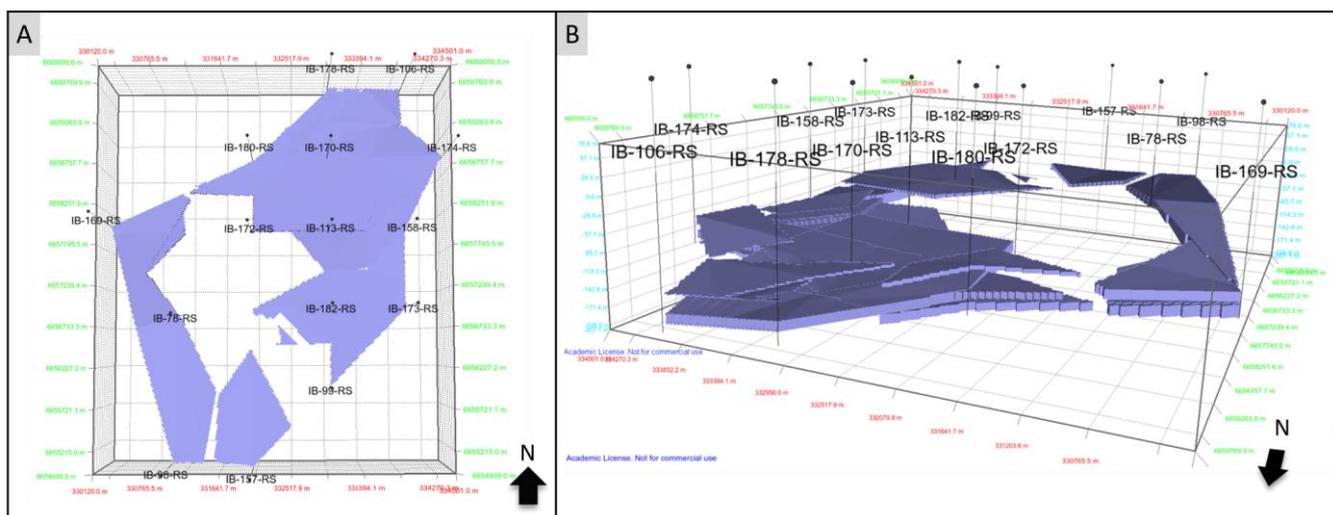


Figura 18: Visualizações da associação de fácies de estuário central no *software* MOVE. A) Visualização em Planta. B) Visualização geral. Exagero vertical de 5 vezes.

Finalmente, as associações de leque e planície aluviais ocorrem juntas, em contato com o embasamento, localizadas apenas nos furos IB-78-RS e IB-170-RS, de forma descontínua e com curta extensão (Figura 20). Muito embora a associação de leque aluvial apresente fácies conglomeráticas, estas são sustentadas por matriz siltico-arenosa, o que não é favorável a boas condições de porosidade e permeabilidade (Bjorlykke 2011).

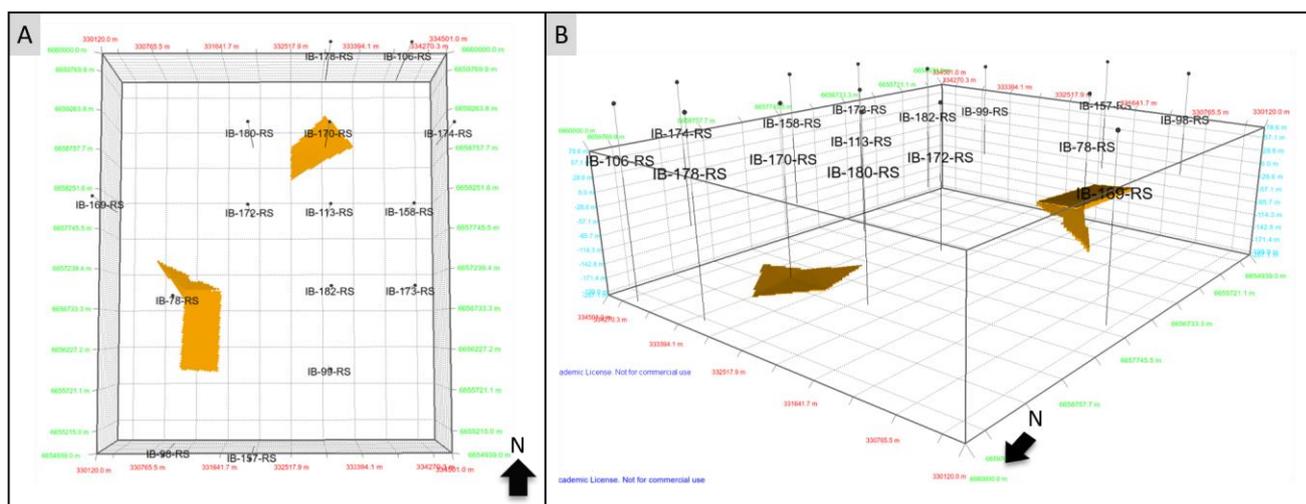


Figura 20: Visualizações da associação de fácies de leques aluviais no *software* MOVE. A) Visualização em Planta. B) Visualização geral. Exagero vertical de 5 vezes.

5. CONCLUSÕES

A análise dos 15 perfis descritivos de escala 1:100 da Formação Rio Bonito, resultou na definição de 20 fácies sedimentares incluindo conglomerados, arenitos, heterolitos, siltitos, lamitos e carvão. O agrupamento da fácies em associações de fácies e ambientes deposicionais indicou a ocorrência de ambientes aluviais (associações de leque e planície aluviais), transicionais (associações de estuário central, canais de maré, planície de marés, *washover* e barreiras litorâneas) e marinhos (*shoreface*), de forma geral concordando com o proposto por estudos anteriores da Formação Rio Bonito na borda sul da Bacia do Paraná.

Com as associações de fácies, foi construído um modelo tridimensional. Com a sucessão e distribuição espacial resultantes do modelo e a observação de padrões de raios gama foram identificados 6 eventos a partir do embasamento: 1) transgressivo em uma sucessão de fácies de ambiente aluvial; 2) transgressivo, com superfície de ravinamento na base, registrando o afogamento do ambiente aluvial por um estuário; 3) transgressivo, registrando a progressão do estuário; 4) regressivo, registrando assoreamento do estuário e predominância das planícies de maré; 5) transgressivo, com superfície de ravinamento na base, registrando afogamento das planícies de maré e avanço do ambiente marinho; 6) regressivo, com superfície de inundação máxima na base, registrando o avanço do ambiente transicional sobre o ambiente marinho.

Foram indicados possíveis tratos de sistemas para dois dos intervalos: Trato de Sistemas de Mar Alto (HST) para o intervalo (6), limitado na base pela superfície de inundação máxima; e Trato de Sistemas Transgressivo (TST) para o intervalo (5) limitado no topo pela superfície de inundação máxima.

Em se tratando de reservatórios, das associações de fácies identificadas como potenciais reservatórios, a de *shoreface* é a que apresenta melhores condições em termos de litologia, conectividade, geometria e continuidade lateral. Das associações de fácies indicadas como não reservatório, a associação de planície de maré é a mais importante em função de ter a maior continuidade lateral, formando uma grande barreira de fluxo e isolando o reservatório de *shoreface*.

A modelagem tridimensional se mostrou fundamental nas análises estratigráfica e de reservatórios, pois foi a base para a visualização e avaliação de critérios importantes como a sucessão vertical geral, geometria, continuidade e conectividade de associações de fácies.

Diante da proposta do estudo, este trabalho contribuiu para um entendimento inicial do intervalo da Formação Rio Bonito em termos de estratigrafia e potencial de reservatórios na área de estudo, onde ela ocorre apenas em subsuperfície. Também contribuiu para a recuperação e aproveitamento de antigos e valiosos dados de pesquisa levantados pela CPRM, que continuam sendo relevantes atualmente, na perspectiva de estudos como análogos de reservatórios, e ainda mais de novas atividades de prospecção e avaliação e potenciais reservatórios na formação.

REFERÊNCIAS

- ALVES R.G., ADE M.V.B. 1996. Sequence stratigraphy and coal petrography applied to the Candiota coal field, Rio Grande do Sul, Brazil: A depositional model. *International Journal of Coal Geology*, 30(3):231-248. doi.org/10.1016/0166-5162(95)00041-0 Disponível em: <https://www.science-direct.com/science/article/pii/0166516295000410?via%3Dihub>. Acesso em 08 agosto 2022.
- ASSIS F.B. de, ADE M.V.B., RODRIGUES R., CHAVES H.A.F. 2020. Sistema Petrolífero Irati-Rio Bonito e Biodegradação do Óleo no Município de Araranguá, Bacia do Paraná, Estado de Santa Catarina. *Anuário do Instituto de Geociências-UFRJ*, 43(2):392-404. https://doi.org/10.11137/2020_2_392_404.
- BJORLYKKE K. 2011. *Petroleum Geoscience: From Sedimentary Environments to Rock Physics*, Springer-Verlag, Berlin, 518pp.
- CASAGRANDE J. 2010. Análise estratigráfica e estrutural do intervalo carbonoso portador de CBM – Eo-Permiano da Bacia do Paraná. Dissertação de Mestrado. Programa de Geologia do Petróleo, Convênio UFRGS/ANP, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 137pp. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/25534/000753889.pdf?sequence=1>. Acesso em 07 agosto 2022.
- CATUNEANU O. 2006 *Principles of sequence stratigraphy*. Elsevier, Amsterdam, 375pp.
- CATUNEANU O., ABREU V., BHATTACHARYA J.P., BLUM M.D., DALRYMPLE R.W., ERIKSSON P.G., FIELDING C.R., FISHER W.L., GALLOWAY W.E., GIBLING M.R., GILES K.A., HOLBROOK J.M., JORDAN R., KENDALL C.GSt.C., MACURDA B., MARTINSEN O.J., MIALI A.D., NEAL J.E., NUMMEDAL D., POMAR L., POSAMENTIER H.W., PRATT B.R., SARG J.F., SHANLEY K.W., STEEL R.J., STRASSER R.J., TUCKER M.E., WINKER C. 2009. Towards the standardization of sequence stratigraphy. *Earth-Science Reviews*, 92(1):1-33. <http://dx.doi.org/10.1016/j.earscirev.2008.10.003>.

- COLLINSON J.D., MOUNTNEY N.P., THOMPSON D.B. 2006. Sedimentary Structures. 3ed. Terra Publishing, England, 292pp. ISBN-13: 978-1903544198
- CPRM 1983. Projeto Iruí-Butiá: Área Cordilheira - Relatório final de pesquisa. Vol.1, CPRM, Porto Alegre, 148pp.
- CPRM, DNPM 1986. Projeto a Borda Leste da bacia do Paraná: integração geológica e avaliação econômica - Relatório final. Vol.1 CPRM, São Paulo.
- GRIFFIS N.P., MUNDIL R., MONTAÑEZ I.P., ISBELL J, FEDORCHUK N., VESELY F., IANNUZZI R., YIN Q. 2018. A new stratigraphic framework built on U-Pb single-zircon TIMS ages and implications for the timing of the penultimate icehouse (Paraná Basin, Brazil). Geological Society of America Bulletin, 130(5):1-11. <http://dx.doi.org/10.1130/B31775.1>
- HOLZ M., 2003. Sequence stratigraphy of a lagoonal estuarine system – an example from the lower Permian Rio Bonito Formation, Paraná Basin, Brazil. Sedimentary Geology, Amsterdam 162 (3–4): 301-327. [https://doi.org/10.1016/S0037-0738\(03\)00156-8](https://doi.org/10.1016/S0037-0738(03)00156-8)
- HOLZ M., FRANÇA A.B., SOUZA P.A., IANNUZZI R., ROHN R. 2010. A stratigraphic chart of the Late Carboniferous/Permian succession of the eastern border of the Paraná Basin, Brazil, South America. Journal of South American Earth Sciences, 29 (2):381-399. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2009.04.004>
- KERN H.P. 2008. Arquitetura estratigráfica de corpos arenosos gerados por ondas e marés no bolo central da Mina do Iruí (Formação Rio Bonito, Eopermiano da Bacia do Paraná, RS). Dissertação de mestrado. Pós-Graduação em Geologia, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, 142pp.
- KÜCHLE J.; HOLZ, M. 2002. Aplicação da estratigrafia de sequências para caracterização em multiescala de reservatórios no Grupo Guatá (Eopermiano da Bacia do Paraná) na Região São Gabriel-RS, Brasil. Pesquisas em Geociências – UFRGS, 29(2): 3 - 20. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/22578>. Acesso em 05 agosto 2022.

- MAAHS R. 2017. Análise estratigráfica da Formação Rio Bonito (Eopermiano da Bacia do Paraná), na região de São Gabriel-RS, com enfoque na caracterização de análogos para reservatório de hidrocarbonetos. Trabalho de Conclusão de Curso. Graduação em Geologia, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 166pp. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/172270>. Acesso em 12 julho 2022.
- MAAHS R., KÜCHLE J., SCHERER C.M.S., ALVARENGA R.S. 2019. Sequence stratigraphy of fluvial to shallow-marine deposits: The case of the early Permian Rio Bonito Formation, Paraná Basin, southernmost Brazil. *Brazilian Journal of Geology*, 49(4), 21p. <https://doi.org/10.1590/2317-4889201920190059>.
- MAGALHÃES A.J.C., RAJA GABAGLIA G.P, FRAGOSO D.G.C., BENTO FREIRE E., LYKAWKA R., ARREGUI C.D., SILVEIRA M.M.L., CARPIO K.M.T., DE GASPERI A., PEDRINHA S., ARTAGÃO V.M., TERRA G.J.S., BUNEVICH R.B., ROEMERS-OLIVEIRA E., GOMES J.P., HERNÁNDEZ J.I., HERNÁNDEZ R.M., BRUHN C.H.L. 2020. High-resolution sequence stratigraphy applied to reservoir zonation and characterization, and its impact on production performance - shallow marine, fluvial, and lacustrine carbonate settings. *Earth-Science Reviews*, 210:103325. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103325>
- MIALL A.D. 2006. *The Geology of Fluvial Deposits: Sedimentary facies, basin analysis and petroleum geology*. 4ed. Springer-Verlag, Berlin, 582 pp. ISBN 978-3-540-59186-3
- MILANI E.J., CATTO A.J. 1998. Petroleum Geology of the Paraná Basin, Brazil. In: ABGP/AAPG INTERNATIONAL CONFERENCE AND EXHIBITION, Rio de Janeiro, Abstract. Disponível em: <https://www.searchanddiscovery.com/abstracts/html/1998/intl/abstracts/milani02.hm>. Acesso em 12 agosto 2022.
- NICHOLS G. 2009. *Sedimentology and stratigraphy*. 2ed. Wiley-Blackwell, London, 432 pp. ISBN: 978-1-405-13592-4
- REIS P.D., HÜCHLE J., HOLZ M. 2007. Caracterização, análise e modelagem tridimensional de reservatórios em ambientes parálicos no intervalo Eopermiano, região de São Gabriel - RS. Publicação em anais. 4º PDPETRO, Campinas,

1.1.0077 – 1. Disponível em: http://www.portalabpg.org.br/PDPetro/4/resumos/4PDPETRO_1_1_0077-1.pdf . Acesso em 10 outubro 2022.

SCHNEIDER R.L., MÜHLMANN H., TOMMASI E., MEDEIROS R.A., DAEMON R.F., NOGUEIRA A.A. 1974. Revisão Estratigráfica da Bacia do Paraná. In: Sociedade Brasileira de Geologia (ed). Anais do XXVIII Congresso Brasileiro de Geologia. Sociedade Brasileira de Geologia, São Paulo, p. 41-65.

WHITE I.C. 1908. Relatório final da Comissão de Estudos das Minas de Carvão de Pedra do Brasil. DNPM , Rio de Janeiro,Parte I, p.1-300 ; Parte II p. 301-617.

ZECCHIN M., CATUNEANU O. 2013. High-Resolution sequence stratigraphy of clastic shelves I: Units and bounding surfaces. Marine and Petroleum Geology, 39(1):1-25. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2012.08.015>.

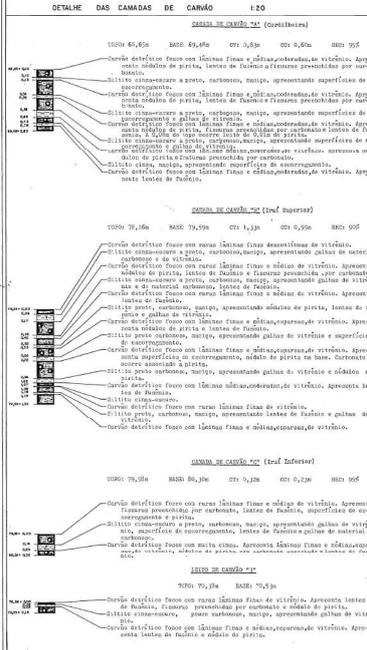
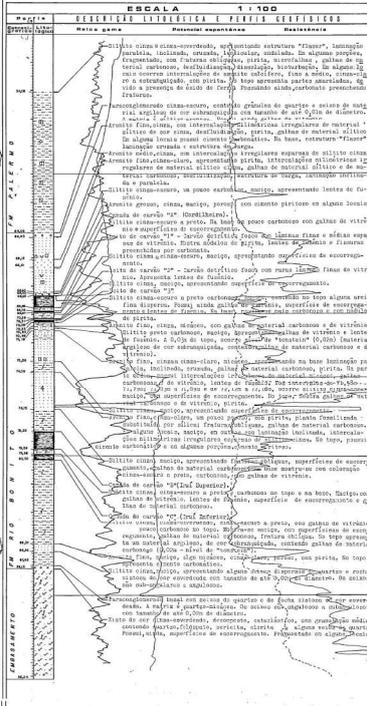
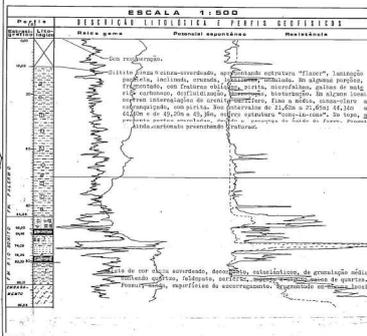
APÊNDICE 1 - PERFIS DESCRITIVOS PROJETO IRUÍ-BUTIÁ

PERFIL DESCRITIVO DE FURO DE SONDA

FURO IB-78-RS		SITIO IRUI - BUTIÁ		ANEXO	
Profundidade	Altura	Profundidade	Altura	Profundidade	Altura
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00
40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00
50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00
60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00
70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00
80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00
90,00	90,00	90,00	90,00	90,00	90,00
100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

CONVENÇÕES

1. LAMA CONSOLIDADA	2. LAMA MOLE	3. LAMA MOLE	4. LAMA MOLE
5. LAMA MOLE	6. LAMA MOLE	7. LAMA MOLE	8. LAMA MOLE
9. LAMA MOLE	10. LAMA MOLE	11. LAMA MOLE	12. LAMA MOLE
13. LAMA MOLE	14. LAMA MOLE	15. LAMA MOLE	16. LAMA MOLE
17. LAMA MOLE	18. LAMA MOLE	19. LAMA MOLE	20. LAMA MOLE




COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS
 Superintendência Regional de Porto Alegre
PROJETO IRUI BUTIÁ
IRUI - BUTIÁ

PERFIL DESCRITIVO DE FURO DE SONDA

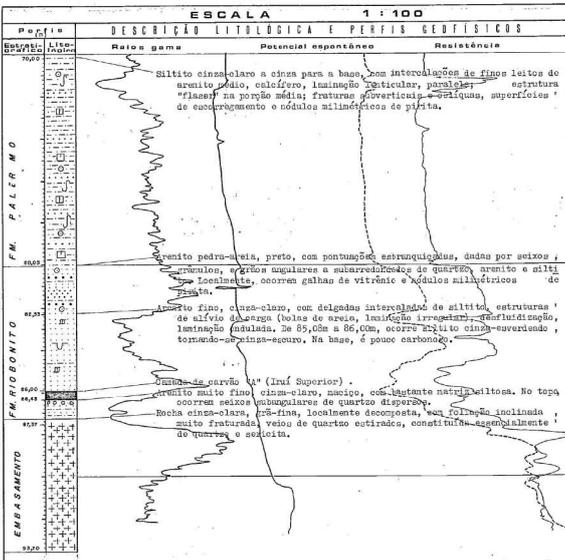
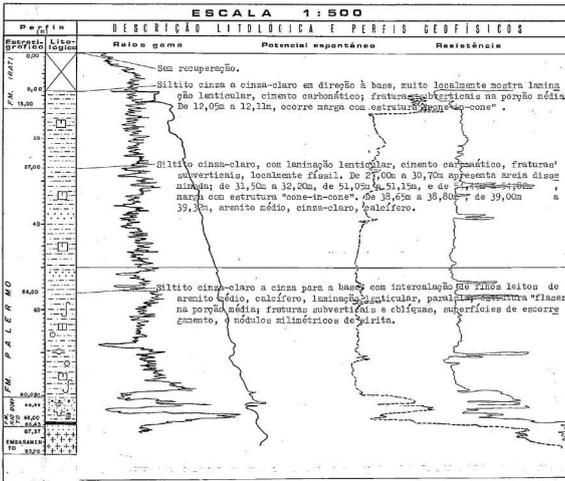
FURO IB - 98 - RS		ANEXO	
Escala horizontal: 1:500 de 0,00m a 93,70m		Escala vertical: 1:100 de 70,00m a 93,70m	
Comandos de Carvão	Data de Início (m)	Comando de Carvão (m)	Resistência (%)
1 (Inuí Superior)	-44,10	0,43	0,23
Parâmetros Geofísicos - 16/07/81			
Escala de sensibilidade		Escala de sensibilidade	
Estratigrafia de tempo		Estratigrafia de tempo	
Velocidade de registro		Velocidade de registro	
Fret. Inicial/Fret. Final		Fret. Inicial/Fret. Final	
Sonda		Sonda	
MOUNT SONSIS EDD NFO		MOUNT SONSIS EDD NFO	

Município: RIO PAR DO-S	Classe de Projeto: 060: BRÁULIO CAYE	Profundidade final: 93,70
Localidade:	Descrição litológica: 061: EDGARDO L. FILHO	Diametro: N
Coordenadas UTM: N: 6.654.988 m E: 281.001 m	Descrição: Vito:	Batida: ACKER N-10
Data de Início: 42,27m		Início: 01/07/81 Término: 16/07/81

CONVENÇÕES

OBSERVAÇÕES



DETALHE DA CAMADA DE CARVÃO 1:20

CAMADA DE CARVÃO "A" (Inuí Superior)

TCPO: 86,00 m BASE: 86,41 m C2: 0,43 m C0: 0,23 m REC: 100%

86,00 - 86,41	Carvão detritico fofo, com muita cinza.
86,41 - 86,42	Siltito cinza-escuro, carbonoso na metade inferior.
86,42 - 86,43	Carvão detritico fofo, com uma lâmina fina, descontínua, de vitrinite, e lentes finas, raras, de fusúlio.
86,43 - 86,44	Siltito cinza pouco carbonoso, maciço, homogêneo, com superfície de escorregimento e fratura oblíqua.
86,44 - 86,45	Carvão detritico fofo, com muita cinza e lentes finas, raras, de fusúlio.
86,45 - 86,46	Siltito cinza pouco carbonoso, maciço.
86,46 - 86,47	Carvão detritico fofo, com muita cinza.

PERFIL DESCRITIVO DE FURO DE SONDA

FURO B-99-RS LARGURA DO FURO: 0,07 m PROFUNDIDADE: 172,00 m **ABRIGO**

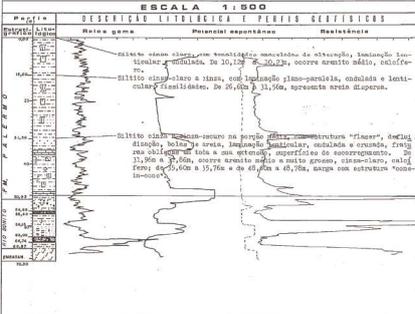
Profundidade (m)	Diâmetro (m)	Observações	Tipologia	Observações	Tipologia
0,00	0,07		100		100
0,00	0,07		100		100
0,00	0,07		100		100

Localização: IRUI - Bloco Central
 Situação: Bloco Central
 Data: 12/07/71

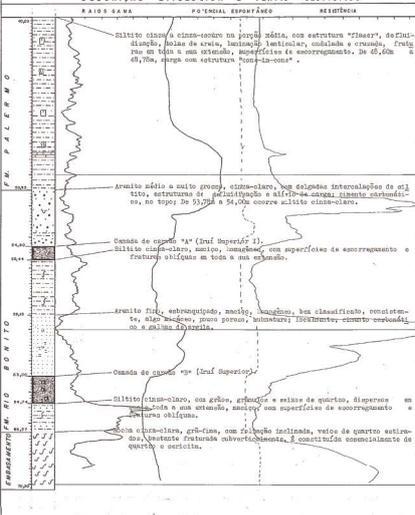
CONVENÇÕES

SOLO	LAJÃO DE FERRUGEM	LAJÃO DE CIMENTO	LAJÃO DE CIMENTO COM FIBRAS	LAJÃO DE CIMENTO COM FIBRAS E CIMENTO	LAJÃO DE CIMENTO COM FIBRAS E CIMENTO E FIBRAS	LAJÃO DE CIMENTO COM FIBRAS E CIMENTO E FIBRAS E CIMENTO	LAJÃO DE CIMENTO COM FIBRAS E CIMENTO E FIBRAS E CIMENTO E FIBRAS
LAJÃO DE CIMENTO	LAJÃO DE CIMENTO COM FIBRAS	LAJÃO DE CIMENTO COM FIBRAS E CIMENTO	LAJÃO DE CIMENTO COM FIBRAS E CIMENTO E FIBRAS	LAJÃO DE CIMENTO COM FIBRAS E CIMENTO E FIBRAS E CIMENTO	LAJÃO DE CIMENTO COM FIBRAS E CIMENTO E FIBRAS E CIMENTO E FIBRAS	LAJÃO DE CIMENTO COM FIBRAS E CIMENTO E FIBRAS E CIMENTO E FIBRAS E CIMENTO	LAJÃO DE CIMENTO COM FIBRAS E CIMENTO E FIBRAS E CIMENTO E FIBRAS E CIMENTO E FIBRAS

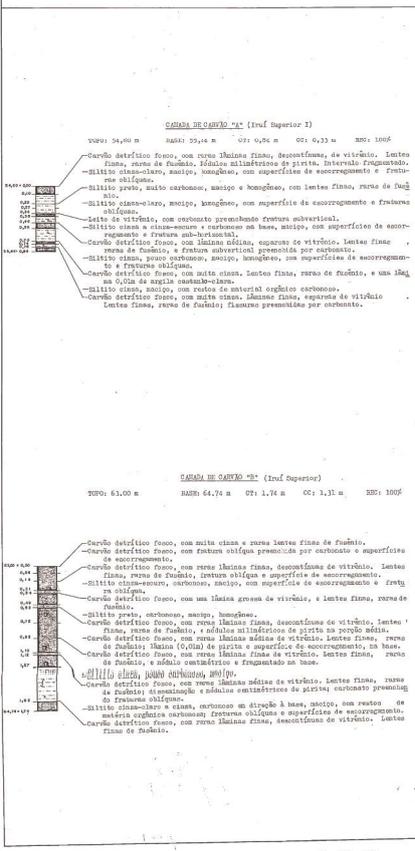
ESCALA 1:500



ESCALA 1:100



DETALHE DAS CAMADAS DE CARVÃO 1:20



PERFIL DESCRITIVO DE PULO DE BARRAGEM

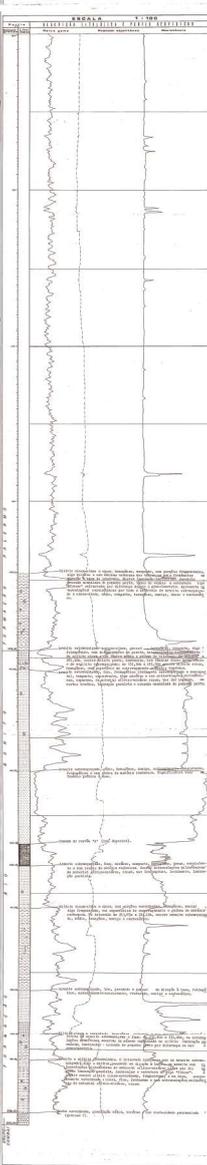
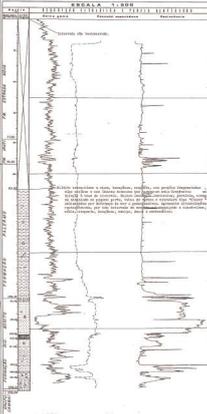
PULO B-106-RS

Coord. de Pulo	Coord. de Barragem	Coord. de Estação
14° 15' 00" S	48° 00' 00" W	14° 15' 00" S
14° 15' 00" S	48° 00' 00" W	14° 15' 00" S
14° 15' 00" S	48° 00' 00" W	14° 15' 00" S

Altura do pulo: 106 m
 Comprimento do pulo: 106 m
 Largura do pulo: 106 m

CONVENÇÕES

—	Perfil de projeto	—	Perfil de execução
—	Perfil de projeto	—	Perfil de execução
—	Perfil de projeto	—	Perfil de execução
—	Perfil de projeto	—	Perfil de execução



LEGENDA

1. Perfil de projeto
 2. Perfil de execução
 3. Perfil de projeto
 4. Perfil de execução
 5. Perfil de projeto
 6. Perfil de execução
 7. Perfil de projeto
 8. Perfil de execução
 9. Perfil de projeto
 10. Perfil de execução
 11. Perfil de projeto
 12. Perfil de execução
 13. Perfil de projeto
 14. Perfil de execução
 15. Perfil de projeto
 16. Perfil de execução
 17. Perfil de projeto
 18. Perfil de execução
 19. Perfil de projeto
 20. Perfil de execução
 21. Perfil de projeto
 22. Perfil de execução
 23. Perfil de projeto
 24. Perfil de execução
 25. Perfil de projeto
 26. Perfil de execução
 27. Perfil de projeto
 28. Perfil de execução
 29. Perfil de projeto
 30. Perfil de execução
 31. Perfil de projeto
 32. Perfil de execução
 33. Perfil de projeto
 34. Perfil de execução
 35. Perfil de projeto
 36. Perfil de execução
 37. Perfil de projeto
 38. Perfil de execução
 39. Perfil de projeto
 40. Perfil de execução
 41. Perfil de projeto
 42. Perfil de execução
 43. Perfil de projeto
 44. Perfil de execução
 45. Perfil de projeto
 46. Perfil de execução
 47. Perfil de projeto
 48. Perfil de execução
 49. Perfil de projeto
 50. Perfil de execução
 51. Perfil de projeto
 52. Perfil de execução
 53. Perfil de projeto
 54. Perfil de execução
 55. Perfil de projeto
 56. Perfil de execução
 57. Perfil de projeto
 58. Perfil de execução
 59. Perfil de projeto
 60. Perfil de execução
 61. Perfil de projeto
 62. Perfil de execução
 63. Perfil de projeto
 64. Perfil de execução
 65. Perfil de projeto
 66. Perfil de execução
 67. Perfil de projeto
 68. Perfil de execução
 69. Perfil de projeto
 70. Perfil de execução
 71. Perfil de projeto
 72. Perfil de execução
 73. Perfil de projeto
 74. Perfil de execução
 75. Perfil de projeto
 76. Perfil de execução
 77. Perfil de projeto
 78. Perfil de execução
 79. Perfil de projeto
 80. Perfil de execução
 81. Perfil de projeto
 82. Perfil de execução
 83. Perfil de projeto
 84. Perfil de execução
 85. Perfil de projeto
 86. Perfil de execução
 87. Perfil de projeto
 88. Perfil de execução
 89. Perfil de projeto
 90. Perfil de execução
 91. Perfil de projeto
 92. Perfil de execução
 93. Perfil de projeto
 94. Perfil de execução
 95. Perfil de projeto
 96. Perfil de execução
 97. Perfil de projeto
 98. Perfil de execução
 99. Perfil de projeto
 100. Perfil de execução

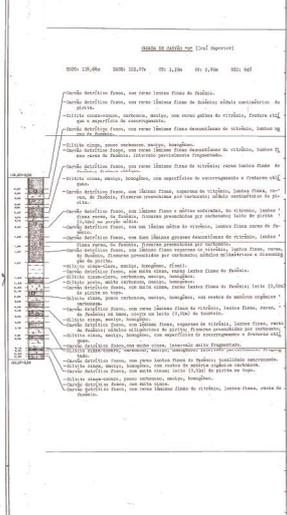
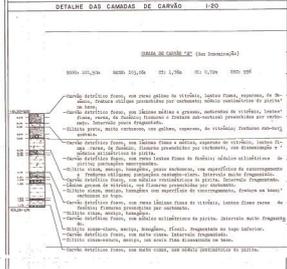
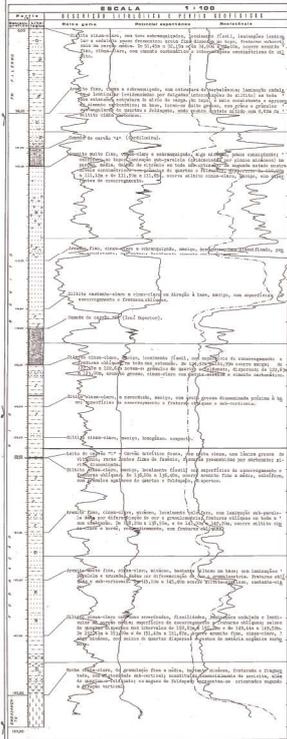
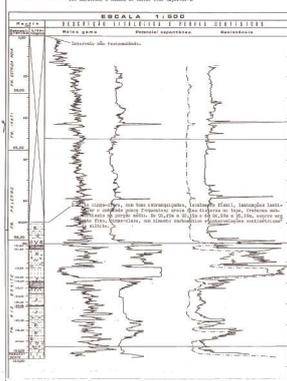
COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS
DEPARTAMENTO NACIONAL DE GÊNEO
PROJETO RUI-BUTIÁ
RUI - BUTIÁ
PERFIL DESCRITIVO DE FURO DE SONDA

FURO 0-115-85

PROFUNDIDADE (m)	DIÂMETRO (cm)	TIPO DE FUNDAMENTO							
0,00	10,00	1	2	3	4	5	6	7	8

CONVENÇÕES

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----



PROJETO IRUI-BUTIA
IRUI-BUTIA

PERFIL DESCRITIVO DE FURO DE SONDA

FURO B - 157 - RS		Cota vertical 1:500 de 0,00m a 100,95m		Cota vertical 1:100 de 0,00m a 100,95m		ANEXO	
Cavidade de carvão		Partes de carvão		Partes de carvão		Partes de carvão	
Profundidade (m)	Altura (m)	Profundidade (m)	Altura (m)	Profundidade (m)	Altura (m)	Profundidade (m)	Altura (m)
56,40	0,40	0,36	100				
(Inf Superior)							
Estado de conservação		Espessura		Espessura		Espessura	
1m		10cm/div		10cm/div		10cm/div	
Espessura de tempo		Espessura		Espessura		Espessura	
3,0m/An		3,0m/An		3,0m/An		3,0m/An	
Profundidade de água		Profundidade de água		Profundidade de água		Profundidade de água	
110,50/0,50m		110,50/0,50m		110,50/0,50m		110,50/0,50m	
Estado de conservação		Estado de conservação		Estado de conservação		Estado de conservação	
SÓLIDO		SÓLIDO		SÓLIDO		SÓLIDO	

Nome: CARBONÍFERA DO SUL - RS
Localidade: CARBONÍFERA
Escala: 1:500
Data: 21.05.82
Cota de base: 48,42m

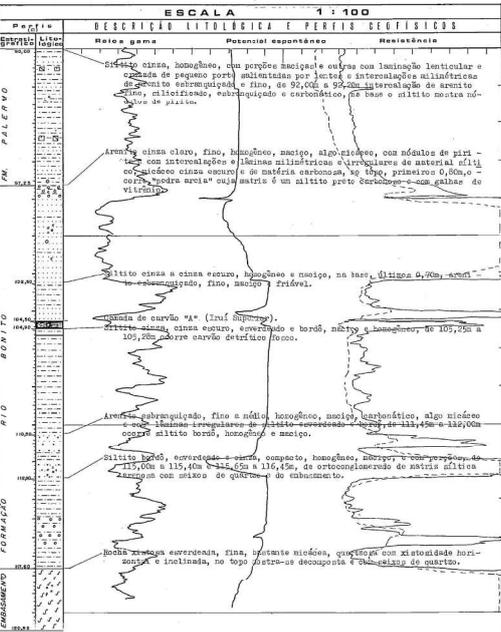
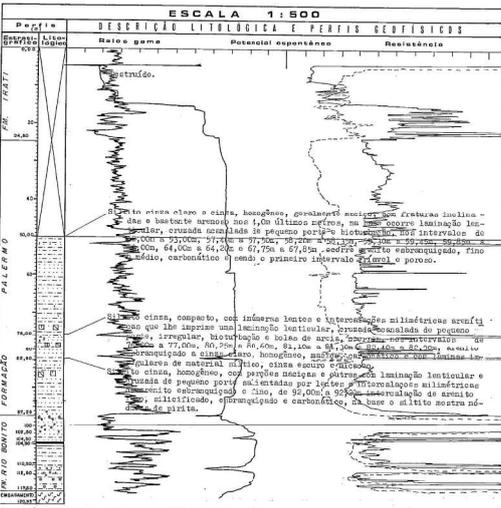
Nome do Projeto: JOSÉ LUIZ F. MACHADO
Descrição: IRUI-BUTIA
Bairro: IRUI-BUTIA
Vila: IRUI-BUTIA

Profundidade final: 100,95m
Diâmetro: 76
Data: 21.05.82
Hora: 13.05.82

CONVENÇÕES

SOLO	LAMINADO CONVULTO	LAMINADO CONVULTO	ESTRAT. CONVULTA	ESTRAT. CONVULTA
SOLO	LAMINADO CONVULTO	LAMINADO CONVULTO	LAMINADO CONVULTO	LAMINADO CONVULTO
SOLO	LAMINADO CONVULTO	LAMINADO CONVULTO	LAMINADO CONVULTO	LAMINADO CONVULTO
SOLO	LAMINADO CONVULTO	LAMINADO CONVULTO	LAMINADO CONVULTO	LAMINADO CONVULTO
SOLO	LAMINADO CONVULTO	LAMINADO CONVULTO	LAMINADO CONVULTO	LAMINADO CONVULTO

OBSERVAÇÕES: Não foi feita amostragem da camada de carvão.



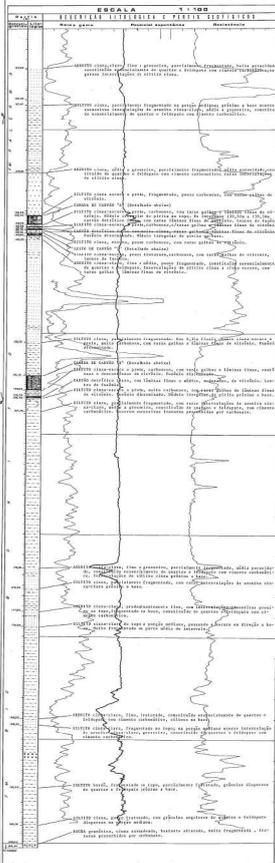
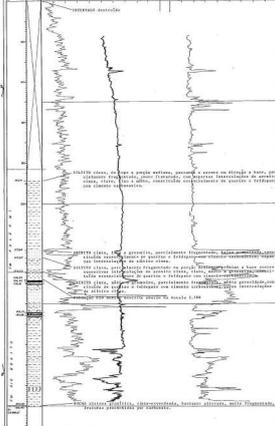
Carvão detritico fosco, com muita cinza e galhas de vitrinite.
Carvão detritico fosco, com muita cinza e galhas de vitrinite.
Carvão detritico fosco, com muita cinza e galhas de vitrinite.
Carvão detritico fosco, com muita cinza e galhas de vitrinite.
Carvão detritico fosco, com muita cinza e galhas de vitrinite.

PERFIL DESCRITIVO DE FURO DE BONDA

FURO 159-83		SITIO 1591	
PROFUNDIDADE (m)	DIÂMETRO (cm)	TIPO DE FURTO	USO
0 - 10	10	1	1
10 - 20	10	2	2
20 - 30	10	3	3
30 - 40	10	4	4
40 - 50	10	5	5
50 - 60	10	6	6
60 - 70	10	7	7
70 - 80	10	8	8
80 - 90	10	9	9
90 - 100	10	10	10

CONVENÇÕES

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10



DETALHE DAS CAMADAS DE CARVÃO 1:20

Camada de carvão "A"

Camada de carvão "B"

Camada de carvão "C"

Camada de carvão "D"

Camada de carvão "E"

Camada de carvão "F"

Camada de carvão "G"

Camada de carvão "H"

Camada de carvão "I"

Camada de carvão "J"

Camada de carvão "K"

Camada de carvão "L"

Camada de carvão "M"

Camada de carvão "N"

Camada de carvão "O"

Camada de carvão "P"

Camada de carvão "Q"

Camada de carvão "R"

Camada de carvão "S"

Camada de carvão "T"

Camada de carvão "U"

Camada de carvão "V"

Camada de carvão "W"

Camada de carvão "X"

Camada de carvão "Y"

Camada de carvão "Z"

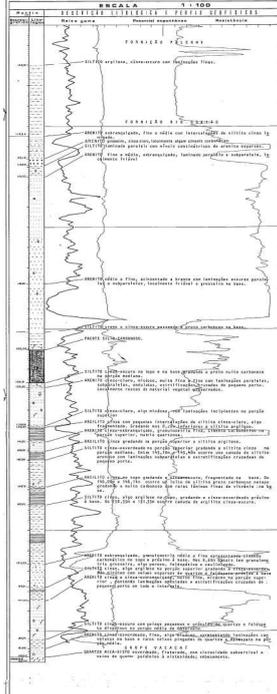
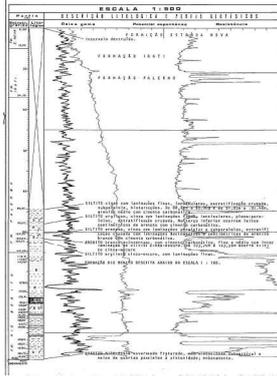
PERFIL DESCRITIVO DE FURO DE BONDA

FURO 10 - 174 - 85

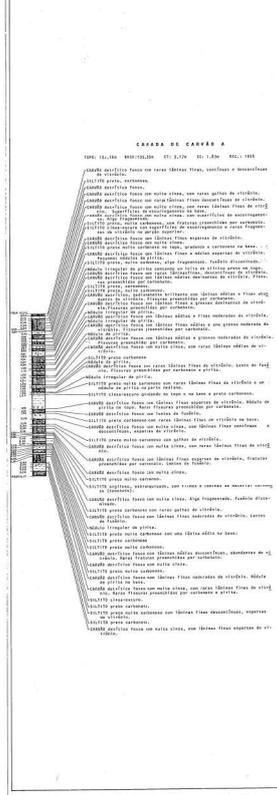
DATA	10/11/85	LOCAL	604 CORDOBEIRA
PROFUNDIDADE	1000	DIÂMETRO	100
TIPO	PROVA	ESTADO	PARANÁ
PROFESSOR	DR. JOSÉ CARLOS DE MOURA	ASSISTENTE	DR. JOSÉ CARLOS DE MOURA

CONVENÇÕES

1	1	1	1
2	2	2	2
3	3	3	3
4	4	4	4
5	5	5	5
6	6	6	6
7	7	7	7
8	8	8	8
9	9	9	9
10	10	10	10

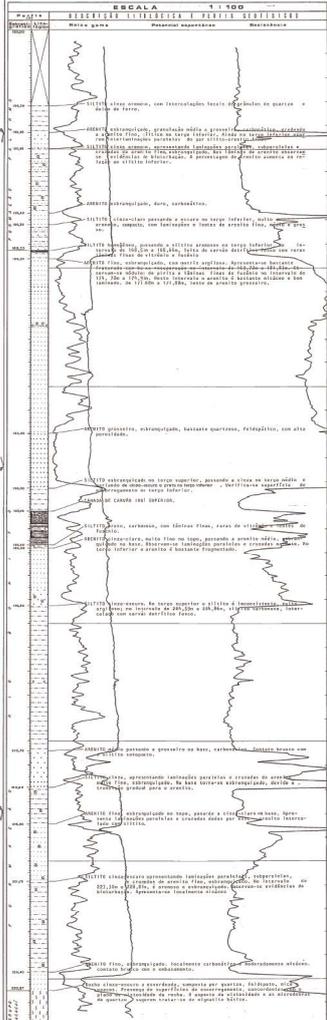
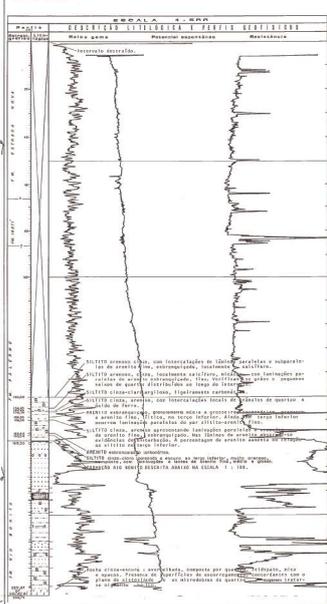


DETALHE DA CAMADA DE CARVÃO 1:20



PERFIL DESCRITIVO DE FURO DE SONDA

FURO IB-178-RS		ÁREA	
Profundidade	100,00 m	Localidade	Carolineira
Coordenadas	U.T.M. 22Q UTM 720.000,00 N 7.200.000,00	Estado	RS
Altitude	100,00 m	Projeto	IRUI - BUTIÁ
Diâmetro	100,00 mm	Escala	1:100
Profundidade	100,00 m	Profundidade	100,00 m
Profundidade	100,00 m	Profundidade	100,00 m



DETALHE DAS CAMADAS DE CARVÃO 1:20

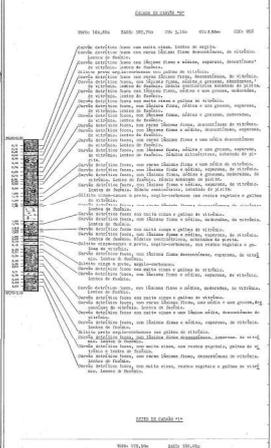
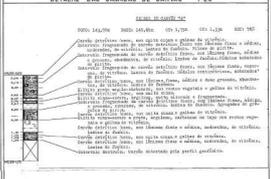
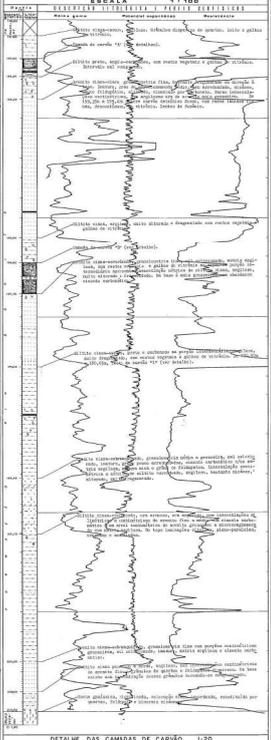
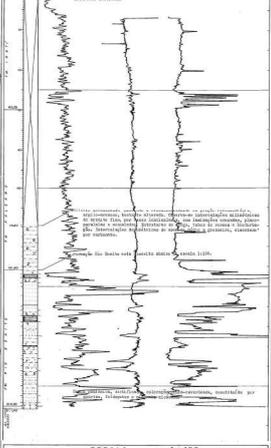
Profundidade (m)	Descrição da Camada
100,00	Carvão (S1110) - 100,00 m
95,00	Carvão (S1111) - 95,00 m
90,00	Carvão (S1112) - 90,00 m
85,00	Carvão (S1113) - 85,00 m
80,00	Carvão (S1114) - 80,00 m
75,00	Carvão (S1115) - 75,00 m
70,00	Carvão (S1116) - 70,00 m
65,00	Carvão (S1117) - 65,00 m
60,00	Carvão (S1118) - 60,00 m
55,00	Carvão (S1119) - 55,00 m
50,00	Carvão (S1120) - 50,00 m
45,00	Carvão (S1121) - 45,00 m
40,00	Carvão (S1122) - 40,00 m
35,00	Carvão (S1123) - 35,00 m
30,00	Carvão (S1124) - 30,00 m
25,00	Carvão (S1125) - 25,00 m
20,00	Carvão (S1126) - 20,00 m
15,00	Carvão (S1127) - 15,00 m
10,00	Carvão (S1128) - 10,00 m
5,00	Carvão (S1129) - 5,00 m
0,00	Carvão (S1130) - 0,00 m

FURO IRUÍ-85

PROFUNDIDADE (m)	TIPO DE CAMADA	ESPESURA (m)	COMPOSIÇÃO	REMARKS
0 - 1	Superfície	0,10	terra	
1 - 2	Superfície	0,10	terra	
2 - 3	Superfície	0,10	terra	
3 - 4	Superfície	0,10	terra	
4 - 5	Superfície	0,10	terra	
5 - 6	Superfície	0,10	terra	
6 - 7	Superfície	0,10	terra	
7 - 8	Superfície	0,10	terra	
8 - 9	Superfície	0,10	terra	
9 - 10	Superfície	0,10	terra	
10 - 11	Superfície	0,10	terra	
11 - 12	Superfície	0,10	terra	
12 - 13	Superfície	0,10	terra	
13 - 14	Superfície	0,10	terra	
14 - 15	Superfície	0,10	terra	
15 - 16	Superfície	0,10	terra	
16 - 17	Superfície	0,10	terra	
17 - 18	Superfície	0,10	terra	
18 - 19	Superfície	0,10	terra	
19 - 20	Superfície	0,10	terra	
20 - 21	Superfície	0,10	terra	
21 - 22	Superfície	0,10	terra	
22 - 23	Superfície	0,10	terra	
23 - 24	Superfície	0,10	terra	
24 - 25	Superfície	0,10	terra	
25 - 26	Superfície	0,10	terra	
26 - 27	Superfície	0,10	terra	
27 - 28	Superfície	0,10	terra	
28 - 29	Superfície	0,10	terra	
29 - 30	Superfície	0,10	terra	
30 - 31	Superfície	0,10	terra	
31 - 32	Superfície	0,10	terra	
32 - 33	Superfície	0,10	terra	
33 - 34	Superfície	0,10	terra	
34 - 35	Superfície	0,10	terra	
35 - 36	Superfície	0,10	terra	
36 - 37	Superfície	0,10	terra	
37 - 38	Superfície	0,10	terra	
38 - 39	Superfície	0,10	terra	
39 - 40	Superfície	0,10	terra	
40 - 41	Superfície	0,10	terra	
41 - 42	Superfície	0,10	terra	
42 - 43	Superfície	0,10	terra	
43 - 44	Superfície	0,10	terra	
44 - 45	Superfície	0,10	terra	
45 - 46	Superfície	0,10	terra	
46 - 47	Superfície	0,10	terra	
47 - 48	Superfície	0,10	terra	
48 - 49	Superfície	0,10	terra	
49 - 50	Superfície	0,10	terra	
50 - 51	Superfície	0,10	terra	
51 - 52	Superfície	0,10	terra	
52 - 53	Superfície	0,10	terra	
53 - 54	Superfície	0,10	terra	
54 - 55	Superfície	0,10	terra	
55 - 56	Superfície	0,10	terra	
56 - 57	Superfície	0,10	terra	
57 - 58	Superfície	0,10	terra	
58 - 59	Superfície	0,10	terra	
59 - 60	Superfície	0,10	terra	
60 - 61	Superfície	0,10	terra	
61 - 62	Superfície	0,10	terra	
62 - 63	Superfície	0,10	terra	
63 - 64	Superfície	0,10	terra	
64 - 65	Superfície	0,10	terra	
65 - 66	Superfície	0,10	terra	
66 - 67	Superfície	0,10	terra	
67 - 68	Superfície	0,10	terra	
68 - 69	Superfície	0,10	terra	
69 - 70	Superfície	0,10	terra	
70 - 71	Superfície	0,10	terra	
71 - 72	Superfície	0,10	terra	
72 - 73	Superfície	0,10	terra	
73 - 74	Superfície	0,10	terra	
74 - 75	Superfície	0,10	terra	
75 - 76	Superfície	0,10	terra	
76 - 77	Superfície	0,10	terra	
77 - 78	Superfície	0,10	terra	
78 - 79	Superfície	0,10	terra	
79 - 80	Superfície	0,10	terra	
80 - 81	Superfície	0,10	terra	
81 - 82	Superfície	0,10	terra	
82 - 83	Superfície	0,10	terra	
83 - 84	Superfície	0,10	terra	
84 - 85	Superfície	0,10	terra	
85 - 86	Superfície	0,10	terra	
86 - 87	Superfície	0,10	terra	
87 - 88	Superfície	0,10	terra	
88 - 89	Superfície	0,10	terra	
89 - 90	Superfície	0,10	terra	
90 - 91	Superfície	0,10	terra	
91 - 92	Superfície	0,10	terra	
92 - 93	Superfície	0,10	terra	
93 - 94	Superfície	0,10	terra	
94 - 95	Superfície	0,10	terra	
95 - 96	Superfície	0,10	terra	
96 - 97	Superfície	0,10	terra	
97 - 98	Superfície	0,10	terra	
98 - 99	Superfície	0,10	terra	
99 - 100	Superfície	0,10	terra	

CONVENÇÕES

—	terra	—	areia	—	argila	—	calcário	—	granito
—	arenito	—	conglomerado	—	basalto	—	diabásio	—	gnaiss
—	gnaisse	—	quartzito	—	esquistosidade	—	foliação	—	estratificação
—	foliação	—	estratificação	—	estratificação	—	estratificação	—	estratificação
—	estratificação								



PERFIL DESCRITIVO DE FURO DE SONDA

FURO IB-182-RS		Linha 1000 - 1000		Linha 1000 - 1000		Linha 1000 - 1000	
Profundidade (m)	Diâmetro (cm)	Profundidade (m)	Diâmetro (cm)	Profundidade (m)	Diâmetro (cm)	Profundidade (m)	Diâmetro (cm)
0	10,0	0	10,0	0	10,0	0	10,0
10	10,0	10	10,0	10	10,0	10	10,0
20	10,0	20	10,0	20	10,0	20	10,0
30	10,0	30	10,0	30	10,0	30	10,0
40	10,0	40	10,0	40	10,0	40	10,0
50	10,0	50	10,0	50	10,0	50	10,0
60	10,0	60	10,0	60	10,0	60	10,0
70	10,0	70	10,0	70	10,0	70	10,0
80	10,0	80	10,0	80	10,0	80	10,0
90	10,0	90	10,0	90	10,0	90	10,0
100	10,0	100	10,0	100	10,0	100	10,0

RESERVA CATEGORIA: 100% - 100%
 LOCALIZAÇÃO: CORDILHEIRA, ÁREA CORDILHEIRA
 COTA DE SUPERFÍCIE: 450,00 m
 COTA DE FIM DO FURO: 350,00 m

CONVENÇÕES

1. LAMINAR	11. LAMINAR PARALELA	21. LAMINAR PARALELA
2. LAMINAR	12. LAMINAR PARALELA	22. LAMINAR PARALELA
3. LAMINAR	13. LAMINAR PARALELA	23. LAMINAR PARALELA
4. LAMINAR	14. LAMINAR PARALELA	24. LAMINAR PARALELA
5. LAMINAR	15. LAMINAR PARALELA	25. LAMINAR PARALELA
6. LAMINAR	16. LAMINAR PARALELA	26. LAMINAR PARALELA
7. LAMINAR	17. LAMINAR PARALELA	27. LAMINAR PARALELA
8. LAMINAR	18. LAMINAR PARALELA	28. LAMINAR PARALELA
9. LAMINAR	19. LAMINAR PARALELA	29. LAMINAR PARALELA
10. LAMINAR	20. LAMINAR PARALELA	30. LAMINAR PARALELA

